

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra měřicí a řídicí techniky

Snímání veličin a řízení malého alternativního zdroje energie

Sensing and Control of Small Alternative Power Source

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra měřicí a řídicí techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Matýsek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Snímání veličin a řízení malého alternativního zdroje energie**
Sensing and Control of Small Alternative Power Source

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se se zadanou problematikou a rozdělení jejího řešení na tématicky související celky a jednotlivé úkoly řešení.
2. Návrh alternativního řešení zadané problematiky a na základě zvolených kritérií zdůvodnění a vybrání nejvhodnější varianty.
3. Zpracování navrhovaného řešení - detailně teoreticky, návrhově a konstrukčně.
4. Realizace navrhovaného řešení, provedení potřebných měření a ověření funkcí. Analýza stavu řešení a zhodnocení. Návrh dalšího možného postupu řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ĎAĎO, S. - KREIDL, M. *Senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 315 s. ISBN 80-01-01500-9.
2. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR*. Studie analyzující současný stav, předpoklady rozvoje do r. 2010 a výhled vzdálenějšího horizontu. Praha: ČEZ, 2003. 144 s.
3. CENEK, M., at al. *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
4. QUASCHING, V. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal a nejsou mi znány žádné okolnosti, které by mohly vést k pochybnostem o mé práci.

.....

Miroslav Matýsek

Datum odevzdání bakalářské práce: 6. 5. 2011

Poděkování

Chtěl bych touto cestou velmi poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Bohumilu Horákovi, Ph.D. za veškeré poskytnuté materiály, cenné rady a konzultace, které mi v průběhu tvorby celé práce ochotně poskytl.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je návrh malého alternativního zdroje energie. Výstupní fyzikální veličinou z tohoto zdroje, je tepelná energie, která je kumulována v kapalině. Tento zdroj energie využívá k získávání výsledné tepelné energie na výstupu energii solární. V této BP je popsán tzv. „ostrovní systém“. Jedná se o takový systém, který je zcela nezávislý na vnějších zdrojích energií (kromě solární energie), takže jej lze umístit i do odlehlých oblastí, kde není z technických důvodů možné zavést například přípojku elektrické energie.

Součástí řešení je popis zdrojů energií, senzorů, návrh a popis řešení a příprava experimentu.

Klíčová slova

Energie, zdroj energie, ostrovní systém, solární panel, fotovoltaický panel, akumulátor, řídicí jednotka, měnič, oběhové čerpadlo, výměník tepla

Abstract

The theme of this essay is a project of a small alternative energy source. The output physical value from this energy source is a thermal energy, which is cumulated in the liquid. This energy source is using solar energy on input to produce thermal energy on output. In this essay is also described “the private power system”. It is a system, which is absolutely independent on the outer sources of energy, except of the solar energy, so it is possible to place it into outlying areas, where due to technical reasons is not possible to carry any other energy connections.

The part of the solution is a description of the energy sources, the sensors, the propositions and the descriptions of the solution and the experiment preparation.

Keywords

Energy, energy source, island system, solar panel, photovoltaic panel, accumulator, control unit, converter, circulating pump, condenser

Seznam použitých zkratk:

AC	[A]	alternating current – střídavý proud
C_{aku}	[Ah]	celková kapacita akumulátoru
$\cos \varphi$		účinník
DC	[V]	direct current – stejnosměrný proud
FV		fotovoltaický
I_0	[W·m ⁻²]	sluneční konstanta
I_{0m}	[A]	Stejnoseměrný proud odebíraný měničem bez připojené zátěže
I_{ξ}	[A]	elektrický proud tekoucí do oběhového čerpadla - AC
I_{vst}	[A]	stejnoseměrný proud tekoucí do vstupních svorek měniče
I_{0m}	[A]	Stejnoseměrný proud odebíraný měničem bez připojené zátěže
P_{ξ}	[A]	příkon oběhového čerpadla
TUV		teplá užitková voda
U_{ξ}	[V]	napájecí napětí oběhového čerpadla
Z		součinitel znečištění atmosféry
ε		součinitel, který závisí na výšce slunce nad obzorem a na nadmořské výšce

Obsah

Úvod	1
1 Teoretický úvod	2
1.1 Využití energie.....	2
1.1.1 Zdroje energie.....	2
1.1.2 Obnovitelné zdroje energie.....	2
1.1.3 Neobnovitelné zdroje energie.....	3
1.2 Sluneční energie.....	3
1.3 Využitelnost solární energie	6
1.4 Výhody využití solární energie	8
1.5 Nevýhody využití solární energie	8
2 Návrh řešení.....	8
2.1 Solární termická část zdroje.....	8
2.1.1 Solární tepelné kolektory.....	9
2.1.2 Rozdělení solárních kolektorů.....	9
2.1.3 Účinnost solárních kolektorů.....	12
2.1.4 Množství získané energie	14
2.1.5 Zásobník (výměník) tepla.....	17
2.1.6 Transportní systém	18
2.1.7 Bezpečnostní prvky	20
2.2 Solární fotovoltaická část zdroje.....	21
2.2.1 Výběr oběhového čerpadla	22
2.2.2 Měnič elektrické energie	23
2.2.3 Akumulátor.....	24
2.2.4 Řídící jednotka nabíjení akumulátoru.....	26
2.2.5 Fotovoltaický panel	27
2.2.6 Návrh měření	29
3 Popis řešení experimentální soustavy	30
3.1 Solární panel	30
3.2 Oběhové čerpadlo	31
3.3 Solární regulace	32
3.4 Zásobník TUV	32
3.5 Solární fotovoltaický panel	33
3.6 Regulátor nabíjení.....	33
3.7 Měnič	34
3.8 Ventily	34
3.9 Expanzní nádoba.....	35
3.10 Senzory teploty.....	35
4 Závěr.....	36
Seznam použité literatury	37

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 - ztráty při výrobě užitečné energie; zdroj[1]</i>	2
<i>Obr. 2 - sluneční spektrum nad hranicí atmosféry a na povrchu Země; zdroj[3]</i>	4
<i>Obr. 3 - přeměna energie slunečního záření dopadajícího na Zemi; zdroj[3]</i>	4
<i>Obr. 4 - roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [$W \cdot m^{-2}$]</i>	5
<i>Obr. 5 - konstrukce plochého kolektoru</i>	10
<i>Obr. 6 - princip selektivního absorbéru; zdroj[1]</i>	10
<i>Obr. 7 - jednostěnná vakuová trubka (plochý absorbér) a dvojitěnná vakuová trubka (válcový absorbér, teplosměnná lamela); zdroj[6]</i>	12
<i>Obr. 8 - jednostěnné vakuové kolektory s přímo protékajícím koncentrickým potrubím (vlevo), s tepelnou trubicí (vpravo); zdroj[6]</i>	12
<i>Obr. 9 - Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů; zdroj[9]</i>	13
<i>Obr. 10 - Geometrie slunečního záření; zdroj[10]</i>	14
<i>Obr. 11 - solární zásobník</i>	17
<i>Obr. 12 - solární regulátor</i>	20
<i>Obr. 13 - typy expanzních nádob + řez expanzní nádobou</i>	20
<i>Obr. 14 - elektrická část zdroje</i>	21
<i>Obr. 15 - oběhové čerpadlo WILLO StarST</i>	22
<i>Obr. 16 - měnič napětí $12V_{ss}/230V_{st}$ 300W</i>	23
<i>Obr. 17 - závislost měniče na odebíraném výkonu</i>	24
<i>Obr. 18 - zvlnění výstupního napětí měniče</i>	24
<i>Obr. 19 - trakční akumulátor</i>	25
<i>Obr. 20 - regulatory nabíjení</i>	26
<i>Obr. 21 - princip činnosti fotovoltaiického článku</i>	27
<i>Obr. 22 - VA charakteristika FV panelu a závislost na teplotě; zdroj[11]</i>	28
<i>Obr. 23 - blokové schéma zdroje energie</i>	30
<i>Obr. 24 - použitý solární tepelný kolektor</i>	30
<i>Obr. 25 - konstrukce pro solární panel</i>	31
<i>Obr. 26 - oběhové čerpadlo</i>	31
<i>Obr. 27 - solární regulátor</i>	32
<i>Obr. 28 - štítek zásobníku TUV</i>	32
<i>Obr. 29 - štítek FV panelu</i>	33
<i>Obr. 30 - regulátor nabíjení</i>	33
<i>Obr. 31 - měnič $12V/230V$</i>	34
<i>Obr. 32 - napouštěcí a přetlakový ventil</i>	34
<i>Obr. 33 - expanzní nádoba</i>	35
<i>Obr. 34 - senzory teploty</i>	35

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 - průměrný měsíční součinitel znečištění atmosféry; zdroj[4]</i>	6
<i>Tab. 2 - Součinitelé tepelné roztažnosti a podle EN 806-4</i>	18

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá malým zdrojem energie a následným měřením fyzikálních veličin, jež jsou na tomto zdroji dostupné. V první polovině první kapitoly je rozebráno, z jakých zdrojů energie lze v současné době energii čerpat. Tyto zdroje jsou rozděleny do dvou oblastí, a to zdroje neobnovitelných energií a zdroje obnovitelných energií. V dalších podkapitolách jsou popsány nejčastěji využívané zdroje energií. První polovinu první kapitoly uzavírá zhodnocení využití jednotlivých energií z ekologického hlediska. Druhá polovina kapitoly je věnována sluneční energii. Je zde popsáno její využití a přeměny na jinou využitelnou energii. Nakonec jsou popsány výhody a nevýhody využití sluneční energie.

Druhá kapitola je věnována návrhu malého zdroje energie. Jelikož se jedná o ostrovní systém, proto je tato kapitola rozdělena na dvě části. První část je věnována návrhu výroby tepelné energie. V této části je popsán způsob ohřevu výstupní teplé vody včetně její akumulace ve výměníku. V druhé části kapitoly je popsán návrh části zdroje, která zajišťuje výrobu elektrické energie. Tato část je nezbytná, protože v mém systému používám malé oběhové čerpadlo a řídicí systém. Při návrhu je vycházeno z toho, jaký má použité čerpadlo výkon a jaký druh elektrické energie je nutný pro napájení společné elektrické energie celého ostrovního systému. Další důležitou částí je i akumulace elektrické energie a neposledně i ochrana použitého akumulátoru pomocí regulátoru, který je přímo k těmto účelům přímo určen.

Ve třetí kapitole je popsán experimentálně sestavený zdroj energie a jsou zde popsány jednotlivé komponenty, které jsou v experimentu použity.

Nakonec je uveden závěr a seznam použité literatury, na kterou je v textu odkazováno.

1 Teoretický úvod

1.1 Využití energie

Lidstvo již od samého počátku potřebuje pro uspokojování svých potřeb energii. S tím jak se vyvíjelo a stále vyvíjí, rostou i nároky na množství energie, jež lidé využívají. V dávných dobách, kdy si lidé vystačili pouze s hořícím ohněm coby zdrojem tepelné energie a světla, byly požadavky na množství využívané energie v porovnání s dnešní dobou extrémně malé. Postupem času, kdy člověk začal ke své obživě kromě lovu využívat i zemědělských produktů, začal využívat i hospodářská zvířata, a především energii jejich svalů. Také se naučil mnohem lépe využívat ohně a především paliva, díky němuž mohl oheň využívat. Později, v počátcích průmyslové revoluce, přestalo být dříví, coby zdroj energie, dostatečným zdrojem energie, a proto se začalo postupně víc a víc využívat hořlavé horniny – uhlí. S rostoucím rozmachem průmyslové revoluce rostl i „hlad“ po energii, již bylo potřeba stále víc a víc. Lidé využívali také síly větru nebo vody. Ve 20. století začalo lidstvo využívat další zdroje energií, například sluneční, geotermální, jadernou...

1.1.1 Zdroje energie

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, využívají lidé k uspokojování svých potřeb různé druhy energií. V následujících podkapitolách jsou popsány ty druhy energií, které jsou v současné době nejvíce využívány. Tyto zdroje energií dále rozdělujeme na obnovitelné zdroje energie a neobnovitelné zdroje energie. U všech druhů energií se zatím lidé potýkají s problémem, jak nejlépe a bez zbytečných ztrát využít primární energii. Doposud se při přeměně primární energie na užitečnou ztrácí přibližně 80% energie [Obr. 1]. To je také důvod, proč se lidé neustále snaží vyvinout nové technologie pro zpracování a výrobu potřebných energií.



Obr. 1 - ztráty při výrobě užitečné energie; zdroj[1]

1.1.2 Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.[2] K těm nejvíce využívaným patří zejména:

- biomasa
- geotermální energie
- sluneční záření
- větrné energie
- vodní energie
- ostatní

1.1.3 Neobnovitelné zdroje energie

Jako neobnovitelné zdroje energie označujeme takové zdroje energie, u nichž se předpokládá, že budou vyčerpány v horizontu maximálně několika stovek let. Jde o takové zdroje, které by pro své obnovení potřebovaly mnohonásobně delší dobu, než je ta, za kterou budou tyto zdroje vyčerpány. Typickým příkladem neobnovitelných zdrojů energie jsou fosilní paliva:

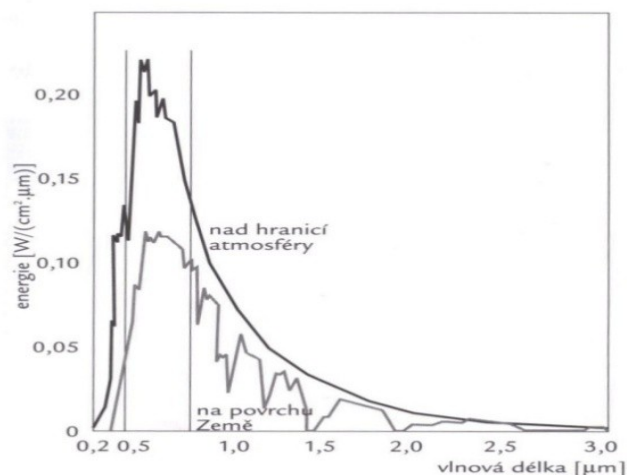
- rašelina
- ropa
- uhlí
- zemní plyn
- ostatní

Mezi neobnovitelné zdroje energie se zatím také považuje jaderná energie, i když se například vyhořelé plutonium za pomoci složitých chemických procesů přeměňuje opět na palivo. Tato přeměna je však v současné době příliš nákladná.

V současnosti mají neobnovitelné zdroje energie dominantní postavení při získávání především elektrické energie.

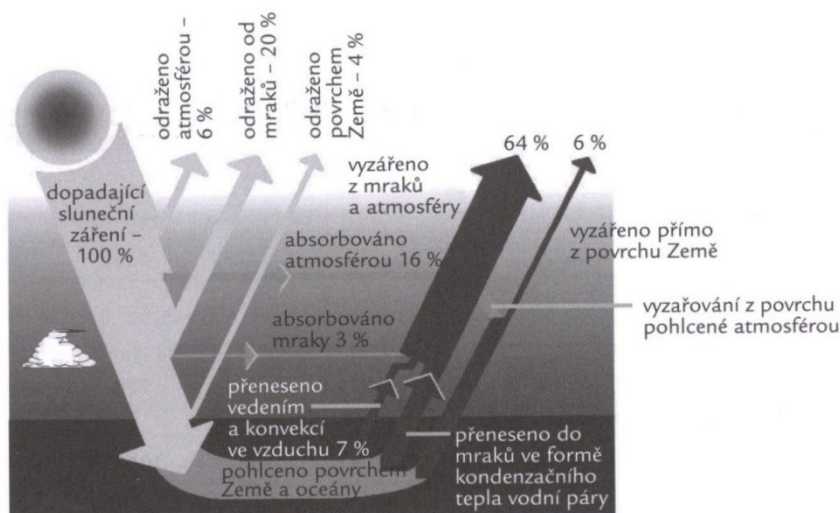
1.2 Sluneční energie

Planetární soustava, v níž se nachází naše planeta Země, má ve svém středu hvězdu, kterou lidé pojmenovali „SLUNCE“. Jedná se o kulovitý útvar, složený převážně z vodíku s malou příměsí hélia a velmi malým množstvím ostatních prvků. Všechny tyto prvky jsou ve slunci obsaženy jako rozžhavené elektricky vodivé prvky (plasma). Slunce je největší zdroj energie ve sluneční soustavě a veškerá energie na Zemi pochází z tohoto zdroje. Výjimku tvoří pouze jaderná energie. Zdrojem energie slunce je přeměna vodíku v helium pomocí termonukleárních reakcí v jádru slunce. Celkový tok energie, kterou slunce vyzařuje do vesmíru je $3,85 \cdot 10^{26} [\text{W}]$. Slunce vyzařuje energii ve velkém rozsahu spektra. Největší část je však v rozsahu vlnových délek $0,2 \cdot 10^{-6}$ až $3 \cdot 10^{-6} [\text{m}]$, což je patrné z Obr. 2. Jedná se převážně o světelné a infračervené záření. Takto vyzářená energie slunce „cestuje“ vesmírem, aniž by byla něčím pohlcena, až k naší planetě. Na hranici atmosféry Země tato energie dorazí v nezměněné podobě, v jaké byla vyzářená ze Slunce, ale s podstatně zmenšenou intenzitou. Tato intenzita záření je zmenšená díky vzdálenosti Země od Slunce. Zmenšení intenzity záření je způsobeno rozptýlením záření na větší plochu. Na plochu kolmou k slunečním paprskům dopadá na povrchu zemské atmosféry měrný tok energie $1360 [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$.



Obr. 2 - sluneční spektrum nad hranicí atmosféry a na povrchu Země; zdroj[3]

Sluneční energie, která dopadá nepřetržitě na Zemi ve formě záření se z menší části přímo odráží zpět do vesmíru, aniž by zasáhla do dějů na naší planetě, a z větší části je Zemi absorbována. Absorbována energie prochází různými změnami, po nichž je ve formě infračerveného záření vrácená zpět do vesmíru. Tuto přeměnu sluneční energie zachycuje Obr. 3.



Obr. 3 - přeměna energie slunečního záření dopadajícího na Zemi; zdroj[3]

Průchodem paprsků atmosférou je intenzita slunečního záření zmenšována. V ionosféře (výška nad 60 km) jsou atmosférické plyny, převážně dusík a kyslík, ionizovány pohlcováním ultrafialového a rentgenového záření. Ve výškách okolo 30 km se nachází ozónosféra, ve které se zachytává největší množství ultrafialového záření. V těchto vrstvách se absorbují pro život nebezpečné složky slunečního záření, avšak z energetického hlediska nemají na úbytek dopadající energie na zemský povrch příliš velký vliv. V troposféře, která tvoří nejbližší plynný obal zemského povrchu, je soustředěno téměř 80 % hmotnosti celé atmosféry. V atmosféře se celkem 19 % záření absorbuje a přibližně 34 % odrazí zpět do meziplanetárního prostoru. To je způsobeno především vodní párou, oxidem uhličitým, prachem a kapkami vody obsaženými v mracích. Mírou

tohoto zmenšení intenzity slunečního záření je tzv. součinitel znečištění atmosféry Z , který závisí na obsahu příměsí ve vzduchu a na atmosférickém tlaku. V létě bývá součinitel znečištění atmosféry vyšší než v zimním období, protože hodnotu součinitele především ovlivňuje množství vodní páry v ovzduší. Při nízkých teplotách je také vlhkost vzduchu nižší. Součinitel znečištění atmosféry je definován Linkeho vztahem (1):

$$Z = \frac{\ln I_0 - \ln I_n}{\ln I_0 - \ln I_{\xi}} \quad (1)$$

kde : I_0 - sluneční konstanta ($1360[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$)

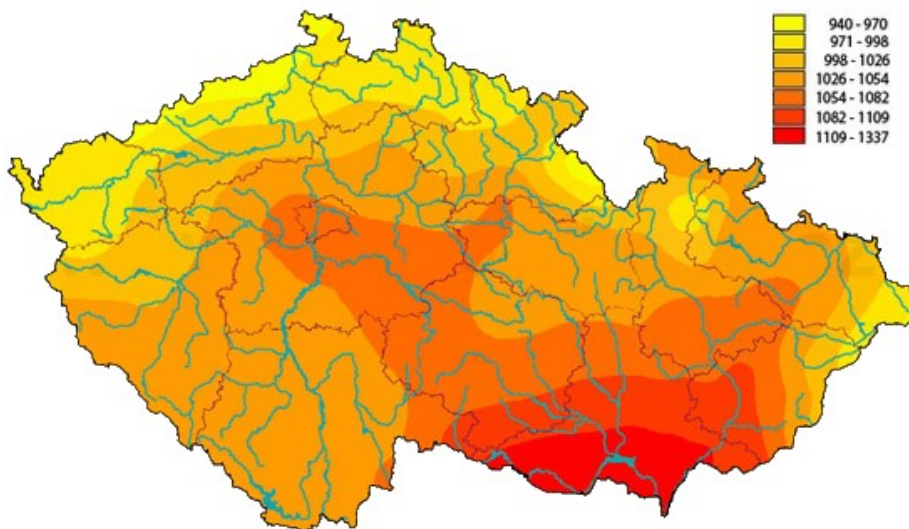
I_n - intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší

I_{ξ} - intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší

Ve střední Evropě jsou průměrné měsíční hodnoty Z uvedeny v tabulce *Tab. 1*. Průměrné hodnoty znečištění jsou důležité především tam, kde je konečným cílem určit intenzitu slunečního záření.

Kromě znečištění atmosféry má také významný vliv na konečnou intenzitu slunečního záření

- zeměpisná šířka - největší množství záření dopadá na Zemi v oblastech kolem rovníku a nejmenší u pólů. Množství slunečního záření v ČR je patrné z *Obr. 4*.
- roční doba – množství slunečního záření se mění v průběhu roku – v zimě je den kratší a slunce je na obloze nízko, kdežto v létě jsou dny delší a slunce je na obloze výš.
- místní klima a oblačnost – v průmyslových aglomeracích je díky smogu prostupnost slunečního záření mnohem menší než v místech bez průmyslu.
- sklon a orientace plochy, na kterou dopadá sluneční záření – maximální výkon ze slunečního záření získáme na ploše, která je kolmá k dopadajícím paprskům. Optimální je proto natáčet zařízení za Sluncem tak, aby na něj paprsky dopadaly stále kolmo.



Obr. 4 - roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

Tab. 1 - průměrný měsíční součinitel znečištění atmosféry; zdroj[4]

Měsíc	Průměrné měsíční hodnoty Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší			
	horské oblasti	venkov	města	průmyslové oblasti
leden	1,5	2,1	3,1	4,1
únor	1,6	2,2	3,2	4,3
březen	1,8	2,5	3,5	4,7
duben	1,9	2,9	4,0	5,3
květen	2,0	3,2	4,2	5,5
červen	2,3	3,4	4,3	5,7
červenec	2,3	3,5	4,4	5,8
srpen	2,3	3,3	4,3	5,7
září	2,1	2,9	4,0	5,3
říjen	1,8	2,6	3,6	4,9
listopad	1,6	2,3	3,3	4,5
prosinec	1,5	2,2	3,1	4,2
roční průměr	1,89	2,76	3,75	5,00

1.3 Využitelnost solární energie

Sluneční energii lze využít například pro ohřívání vody, vytápění domů, pro výrobu energie elektrické, pro absorpční chlazení (např. u ledničky, klimatizace), dokonce pro pohon různých zařízení (Stirlingův motor), africké země trpící nedostatkem pitné vody se dnes učí využívat sluneční energii ke sterilizaci vody.... V podstatě je sluneční energie nejvíce využívána dvěma způsoby:

- ohřev vody a vytápění (chlazení)
- výrobu elektrické energie

Veškerou solární energii, kterou máme k dispozici, bohužel nelze využít. Je to z toho důvodu, že je zde celá řada faktorů, které praktickou využitelnost ovlivňují. Mezi ty nejvýznamnější patří :

1. Účinnost systémů, kterými energii zachycujeme a přeměňujeme (jsou to okna, kolektory, fotovoltaické články...), je vždy menší než 100%. Vždy proto můžeme využít jen část energie, která je k dispozici. V případě ohřevu teplé vody bývá průměrná účinnost kolektorů kolem 30 až 40%, u fotovoltaických článků je zpravidla průměrná účinnost 10 až 17%.
2. Existuje nepoměr mezi momentální nabídkou solární energie a okamžitou potřebou. Nejvíce energie na topení například potřebujeme za dlouhých zimních nocí, ale největší nabídka solární energie je v horkém létě. Z části se to dá řešit nějakým druhem akumulace, ale zpravidla jen v omezené míře.
3. Solární energie má malou plošnou hustotu, a tak rozměry zařízení pro její využití musí být poměrně velké. Proto je většina solárních systémů i relativně finančně náročná. Významným limitujícím faktorem je tedy doba návratnosti investice. Z tohoto důvodu

zpravidla neděláme solární systémy tak velké, aby nám pokryly maximální část naší energetické potřeby, ale optimalizujeme je tak, aby se nám investice do nich v rozumné době vrátila, anebo alespoň nebyla doba návratnosti delší než doba životnosti zařízení.

Kromě těchto faktorů existují ještě další, spíše netechnického charakteru. Jde například o to, že ne všude se dají zařízení pro využití solární energie instalovat.

Solární systémy můžeme rozdělit do několika skupin:

- a) Podle toho, k čemu použijeme získanou energii:
 - systémy pro ohřev bazénů
 - systémy pro ohřev teplé vody
 - systémy pro vytápění
 - systémy pro chlazení a klimatizaci
- b) Podle toho, jakým způsobem přeneseme teplo:
 - Pasívní systémy – v těchto systémech je teplo přenášeno pasívně, bez použití nějakého technického zařízení a bez nároků na elektrickou energii.
 - Aktívní systémy – v těchto systémech je teplo přenášeno pomocí teplonosného média za použití čerpadla nebo ventilátoru
- c) Podle toho, jaké médium je použito k přenosu tepla:
 - Systémy využívající vzduch – využívají se především v nízkoenergetických domech, které mají nucené větrání s rekuperací a přihříváním vzduchu.
 - Systémy využívající k přenosu tepla kapalin – v našich zeměpisných šířkách jde zřejmě o nejpoužívanější systémy. Dají se poměrně dobře integrovat do stávajících systémů pro vytápění a ohřev vody.
- d) Podle toho, k čemu použijeme získanou energii:
 - systémy pro ohřev bazénů
 - systémy pro ohřev teplé vody
 - systémy pro vytápění
 - systémy pro chlazení a klimatizaci
- e) Podle toho, jakým způsobem přeneseme teplo:
 - Pasívní systémy – v těchto systémech je teplo přenášeno pasívně, bez použití nějakého technického zařízení a bez nároků na elektrickou energii.
 - Aktívní systémy – v těchto systémech je teplo přenášeno pomocí teplonosného média za použití čerpadla nebo ventilátoru
- f) Podle toho, jaké médium je použito k přenosu tepla:
 - Systémy využívající vzduch – využívají se především v nízkoenergetických domech, které mají nucené větrání s rekuperací a přihříváním vzduchu.
 - Systémy využívající k přenosu tepla kapalin – v našich zeměpisných šířkách jde zřejmě o nejpoužívanější systémy. Dají se poměrně dobře integrovat do stávajících systémů pro vytápění a ohřev vody.

1.4 Výhody využití solární energie

Solární energie patří do skupiny obnovitelných zdrojů energie, což s trochou zjednodušení znamená, že bude k dispozici stále. Její využívání má minimální dopady na životní prostředí, neprodukuje škodlivé odpady a v podstatě nijak neovlivňuje tepelnou rovnováhu Země. Další výhodou je téměř univerzální, plošná dostupnost, i to, že je k dispozici zadarmo. Systémy využívající solární energii jsou decentralizované, bezpečné a nehrozí jim problémy se zastavením dodávek nebo zvyšováním cen. Většina solárních systémů je také technicky jednoduchá, robustní a vyznačují se dlouhou životností a minimálními nároky na obsluhu a údržbu. Významným prvkem je i to, že se tyto systémy dají instalovat i v husté městské zástavbě. Díky uvedeným výhodám se v mnoha státech využívání solární energie intenzivně podporuje.

1.5 Nevýhody využití solární energie

Za základní nevýhodu solární energie můžeme považovat její časovou proměnlivost a malou plošnou hustotu. V důsledku toho musí být solární systém poměrně rozsáhlý a vždy musíme mít další zdroj, který se použije v době nedostatečného slunečního svitu. Při instalaci solárních systémů je nutno dořešit různé stavební úpravy, případně provést zateplení budovy, protože jsou instalovány do stávající zástavby.

2 Návrh řešení

Smyslem této bakalářské práce je vytvořit malý zdroj energie a na tomto zdroji snímat dostupné fyzikální veličiny – především však teplotu. Tento zdroj by měl být zkonstruován jako ostrovní systém, takže by neměl být závislý na jiných energetických zdrojích, a měl by být plně energeticky nezávislý. Prvním krokem k návrhu zdroje energie bylo, jakou energii bude tento zdroj dodávat. Nabízelo se mnoho druhu energií. Po dohodě s vedoucím této bakalářské práce, bylo dospěno k závěru, že konečnou energii, kterou bude zdroj produkovat na výstupu, bude tepelná energie předávaná pomocí kapaliny. Tepelnou energii na výstupu ze zdroje lze využít například k ohřevu bazénu, případně užitkové nebo pitné vody. Proto, aby se tento zdroj dal použít jako zdroj tepla pro vytápění např. rodinného domku, by bylo třeba jej náležitě rozšířit o mnohem výkonnější komponenty.

Dalším požadavkem na tento alternativní zdroj energie bylo, aby byl nezávislý na napájení elektrickou energií, nutnou pro napájení čerpadla, které bude zajišťovat cirkulaci ohřáté kapaliny ve vnitřním okruhu zdroje. Způsobů jak toho dosáhnout se nabízelo hned několik. Zřejmě tím nejjednodušším způsobem, se ukázalo použití fotovoltaického panelu v kombinaci s akumulátorem.

Posledním požadavkem na zdroj energie bylo, aby byl pokud možno co nejmenší, ale i přesto stále dostatečně výkonným.

2.1 Solární termická část zdroje

Z výše uvedeného textu vyplývá, že se při návrhu budeme soustřeďovat na solární energii. Získat ze slunečního záření teplo není v dnešní době žádný problém, postačí k tomu jakýkoliv matně černý povrch. Základním problémem všech termálních solárních systémů je však to, jak zabránit tepelným ztrátám a jak vzniklé teplo odvést a uložit pro pozdější potřebu. Dá se říci, že právě tímto

se zabývá většina výzkumu a vývoje v oblasti solární energie. Problém snížení tepelných ztrát a zajištění akumulace se rozhodujícím způsobem podílí na ceně solárních systémů.

Každý solární systém obsahuje v podstatě tyto hlavní části:

- Kolektor, který sluneční záření „sbírá“ a mění jej v teplo.
- Výměník tepla, případně zásobník, ve kterém je teplo uloženo pro pozdější potřebu.
- Transportní systém, který teplo přivádí z kolektoru do zásobníku nebo přímo do místa potřeby (rozvody, čerpadlo)
- Regulační zařízení, které zajišťuje, aby teplo přecházelo z kolektoru do zásobníku a ne naopak. (teploměry, řídicí jednotka, spínací prvky)
- Záložní zdroj tepla, který pokryje spotřebu v době bez slunečního svitu.
- Bezpečnostní prvky, které zabraňují, aby došlo k poškození systému, anebo k poškození zdraví obsluhy (přetlakový ventil, expanzní nádoba)

2.1.1 Solární tepelné kolektory

Solární tepelné kolektory jsou zařízení určené k pohlcování slunečního záření a jeho přeměně v tepelnou energii, kterou předávají teplonosné látce odváděné z kolektoru. Naprostá většina solárních kolektorů využívá k přenosu tepla z kolektoru do místa využití teplonosných kapalin, malá část využívá vzduch. Při přeměně sluneční energie na tepelnou nevyhnutelně vznikají tepelné ztráty. Část sluneční energie se odrazí a není zachycena absorberem, část tepelné energie uniká ve formě tepelných ztrát ještě dříve, než se předá teplonosnému médiu. Pro různé aplikační oblasti a podle požadovaných teplot se používají různé kolektory. Pokud chce projektant vybrat pro svou aplikaci ten správný solární kolektor, pak musí také znát způsob, jak který sluneční kolektor získává teplo.

2.1.2 Rozdělení solárních kolektorů

Solární kolektory můžeme rozdělit podle toho, jakou mají konstrukci. Z jejich konstrukce se dá určit oblast jejich použití. Je zřejmé, že pro ohřev vody v bazénu bude použit jiný kolektor, než pro vytápění budovy.

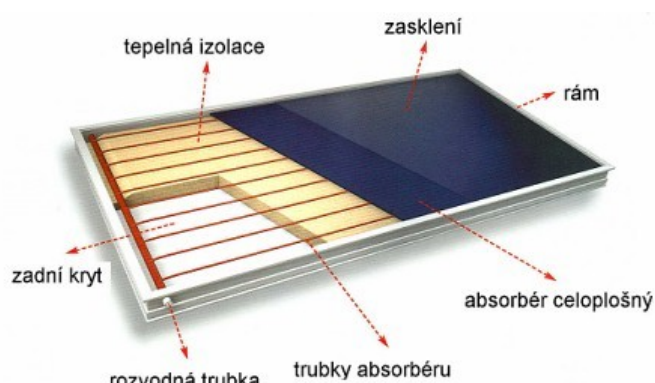
1. Absorbéry pro bazény

Jedná se o nejjednodušší kolektor, který sestává pouze z absorberu. Je určen do nízkoteplotních soustav na sezónní využití sluneční energie, kdy není příliš velký rozdíl mezi teplotou ohřívání látky (vody) a okolním vzduchem. Jedná se především o systémy jednookružové, kdy kolektorem protéká přímo ohřívání voda. Výhodou je především jednoduchost a nižší pořizovací náklady. Nevýhodou je, že tento typ kolektoru má velké tepelné ztráty. Využití je nejčastější při ohřevu bazénové vody v otevřených bazénech a při maloobjemovém ohřevu TV např. v zahrádkářských koloniích.

2. Ploché kolektory

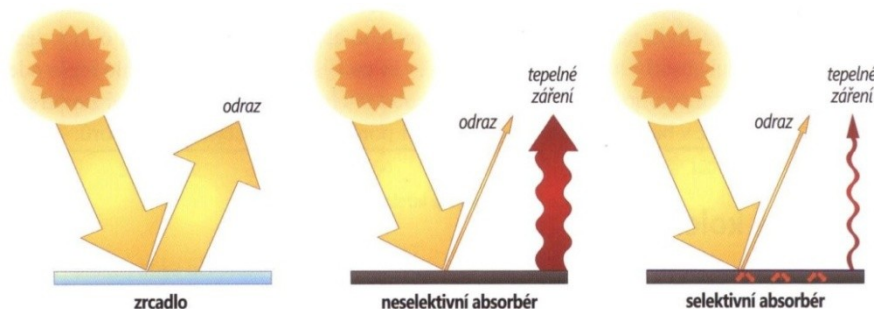
Jedná se o nejrozšířenější typ kolektorů. Jejich pořizovací náklady jsou oproti vakuovým kolektorům zhruba poloviční až třetinové. Nevýhodou oproti vakuovým kolektorům jsou větší tepelné ztráty konvekcí a nebezpečí kondenzace vodní páry uvnitř kolektoru, která v konečném důsledku snižuje účinnost celého systému. V dnešní době je většina profesionálně vyráběných kolektorů opatřena spektrálně selektivní absorpční vrstvou.

Selektivní vrstva podstatně snižuje tepelné ztráty sáláním z povrchu absorbéru (o $75 \div 90\%$). Její princip spočívá ve velké pohltivosti a ($0,86 \div 0,92$) pro krátkovlnné sluneční záření při malé zářivosti e ($0,08 \div 0,12$) pro dlouhovlnné tepelné záření. Kritériem pro posouzení selektivních vrstev je potom tzv. "selektivní poměr" a/e . Tento typ kolektoru je nejběžněji používán na ohřev teplé vody, celoroční ohřev bazénové vody nebo na přitápění (u nízkoteplotních otopných soustav). V létě se stává, že se u solárních termických systémů dočasně nespotebovává teplo. To se stává například tehdy, když je zásobník plný a systém již nečerpá vodu do kolektorů. Teploty v kolektoru pak mohou výrazně překročit 100°C . Velmi kvalitní kolektory dosahují klidových teplot mezi $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$, a proto je plastové potrubí pro takovéto absorbéry nevhodné. Proto jsou absorbéry těchto kolektorů vyrobeny většinou z měděných trubek, které jsou většinou připevněny k tenkému plechu absorbéru.



Obr. 5 - konstrukce plochého kolektoru

Absorbér je umístěn v rámu kolektoru a na spodní straně je dobře izolovaný, aby se minimalizovaly tepelné ztráty. Popis takového solárního kolektoru znázorňuje Obr. 5. Kovové materiály nemají přírodní černý povrch, který by dobře absorboval sluneční záření. Teplotně stálé černé nátěry sice účel absorpce splňují, ale pro absorpční vrstvu se v současnosti používají vhodnější materiály, které tvoří tzv. selektivní absorbér. Takto natřené kovové materiály vyzařovaly velkou část tepelné energie mimo teplotně nosnou látku. Prostřednictvím selektivního povlaku lze ztráty tepelným zářením minimalizovat. Tyto povlaky absorbují sluneční záření stejně dobře jako černě natřená deska. Materiály pro selektivní absorpční vrstvy se mohou poškodit při natírání a znečistit nástřikem. Proto se používá náročnější technologie nanášení vrstev. Princip selektivního absorbéru zachycuje Obr. 6.



Obr. 6 - princip selektivního absorbéru; zdroj[1]

3. Vakuové trubicové kolektory

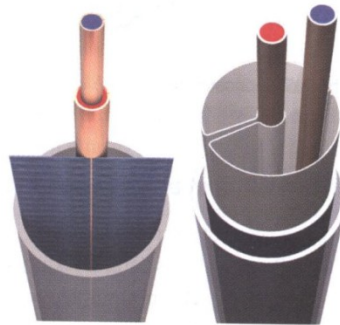
Vzduch mezi absorbérem a předním krytem ze skla způsobuje část tepelných ztrát plochého kolektoru. Je příčinou tzv. kolektivních tepelných ztrát a permanentně přenáší teplo z absorbéru na skleněný kryt. Ty se pak nevyužité vracejí zpět do prostoru. Tím, že je mezi absorbérem a solárním sklem vakuum, sníží se podstatně tepelné ztráty, vznikající pohybem vzduchu v kolektoru. Tento princip využívá plochý vakuový kolektor. Protože by vnější tlak vzduchu tlačil vnější kryt na absorbér, musí být mezi spodní částí kolektoru a skleněným krytem umístěny výztuhy. Vakuum nelze dlouhodobě stabilizovat, protože nelze zcela vyloučit vniknutí vzduchu na přechodech mezi krycím sklem a vanou kolektoru. Proto se musí ploché vakuové kolektory v určitých časových intervalech znovu vypumpovat. Tento problém brání masivnímu nasazení plochých vakuových kolektorů. Tyto potíže odstraní použití jiného typu kolektoru – trubicového vakuového kolektoru. Trubicový vakuový kolektor je založen na skutečnosti, že dokonale uzavřená trubice se dá vyrobit mnohem snáze ve vysokém vakuu a dlouhodobě uchovat, než u plochých vakuových kolektorů. Skleněné trubice díky svému tvaru lépe odolávají vnějšímu tlaku vzduchu, takže výztužné kovové tyče již nejsou potřeba. Trubicové vakuové kolektory rozdělujeme do dvou skupin:

- Trubicové kolektory s jednou trubicí – jedná se o tradiční typ, který využívá uzavřené skleněné trubky, ve které je umístěna plochá lamela absorbéru se selektivním povrchem. Ve vnitřním prostoru skleněné trubice je vakuum. Kolektory s jednostěnnou trubicí a plochým absorbérem mívají velmi dobrý přestup tepla z absorbéru do teplotnosné látky. Toho je dosaženo především díky ultrazvukovému nebo laserovému navaření absorbéru na trubky s teplotnosnou kapalinou. Řez touto trubicí znázorňuje *Obr. 7*. Tyto kolektory jsou již na velmi dobré technické úrovni a pracují s vysokou účinností. Toto řešení je však finančně poměrně velmi náročné.
- Trubicové kolektory s dvojstěnnou trubicí – jedná se o dovážený typ, který je složen z dvojstěnné válcové koncentrické celoskleněné trubice. Jde o stejný princip, na jakém je sestavena dewarova nádoba[5]. To znamená, že vnitřní absorpční trubice slouží k zachycování slunečního záření a přeměně na teplo a vnější krycí trubice slouží jako ochrana před vnějšími atmosférickými vlivy. V meziprostoru mezi oběma skleněnými trubicemi je vakuum a vnější povrch vnitřní trubice je potažen selektivním absorpčním povrchem. U tohoto typu trubic

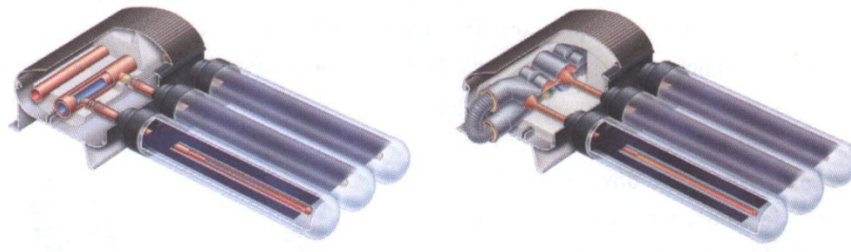
Vakuové trubicové kolektory dále dělíme podle toho, jak se z kolektorů odvádí teplo:

- Přímé protékání – teplo z absorpční plochy se přímo předává do teplotnosné kapaliny (potrubí je ve tvaru U-smyčky).
- S tepelnou trubicí – v těchto trubicích je teplotnosné médium – snadno se odpařující kapalina, jejíž složkou je metanol. V době kdy přijímá sluneční teplo, odpařuje se a vzniklá pára stoupá nahoru. Na horním konci vystupuje „heat pipe“ ze skleněné trubice a ústí do kondenzátoru. Teplotnosné médium v něm kondenzuje a tepelnou energii prostřednictvím výměníku odevzdá proudící vodě.

Poté, co médium zkondenzuje, protéká opět v kapalném skupenství tepelnou trubicí dolů.



Obr. 7 - jednostěnná vakuová trubka (plochý absorbér) a dvojitěnná vakuová trubka (válnový absorbér, teplosměnná lamela); zdroj[6]



Obr. 8 - jednostěnné vakuové kolektory s přímo protékáním koncentrickým potrubím (vlevo), s tepelnou trubicí (vpravo); zdroj[6]

2.1.3 Účinnost solárních kolektorů

Účinnost kolektorů se zjišťuje přímým měřením při různých provozních podmínkách. Přitom se při stálé intenzitě záření $G[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$, stálé teplotě okolí t_v , stálém průtoku teplotnosné kapaliny $M[\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}]$ a stálé vstupní teplotě teplotnosné kapaliny t_{m1} zjišťuje v ustáleném stavu její výstupní teplota t_{m2} . Účinnost kolektoru vypočteme ze vztahu (2).

$$\eta = \frac{Q_k}{Q_s} = \frac{Mc \cdot t_{m2} - t_{m1}}{I A_k} \quad (2)$$

kde: Q_k – využitelný výkon kolektoru [W]
 M – hmotnostní průtok kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]
 I – sluneční ozáření [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
 c – měrná tepelná kapacita teplotnosné látky (pro vodu $c=4187$) [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
 t_{m1} – teplota teplotnosné látky na vstupu do kolektoru [$^{\circ}\text{C}$]
 t_{m2} – teplota teplotnosné látky na výstupu z kolektoru [$^{\circ}\text{C}$]
 A_k – referenční plocha kolektoru [m^2]

Křivky účinnosti a výkonu solárních kolektorů vycházejí z výsledků zkoušek tepelného chování v ustáleném stavu za definovaných podmínek: jasny den s výraznou přímou složkou

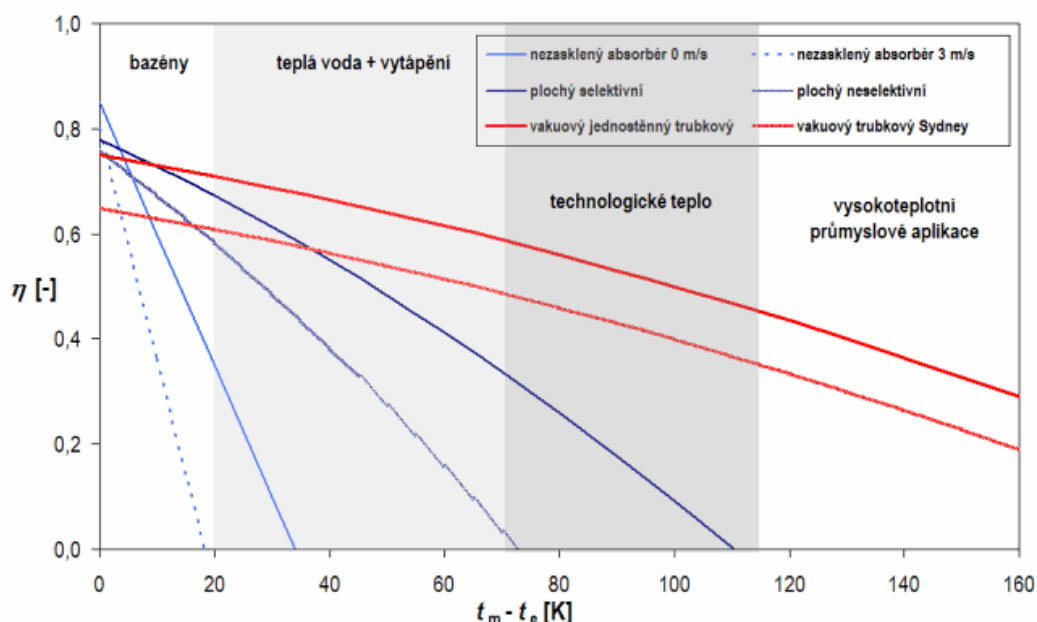
slunečního záření a kolmý (normálový) uhel dopadu slunečního záření na rovinu kolektoru. Takové podmínky však v běžném provozu solárního kolektoru nejsou časté. Uhel dopadu slunečních paprsků na kolektory je obecně různý vlivem proměnlivé geometrie slunečního záření během dne a podíl přímého a difuzního záření je závislý na oblačnosti. Samotná křivka účinnosti solárního kolektoru pro účely modelování jeho reálného chování v průběhu roku proto nestačí a doplňuje se optickou charakteristikou, křivkou modifikátoru uhlu dopadu. Modifikátor uhlu dopadu umožňuje zohlednit vliv uhlově závislých optických vlastností solárního kolektoru na jeho výkon pro obecné podmínky slunečního záření (uhel dopadu, přímé a difuzní záření) podle vztahu (3).

$$Q_k = A_a \cdot K_{\theta b} I_{bT} + K_{\theta d} I_{dT} \cdot \eta_0 - a_1 (t_m - t_e) - a_2 (t_m - t_e)^2 \quad W \quad (3)$$

kde : $K_{\theta b}$ - modifikátor uhlu dopadu vyjádřený pro uhel dopadu přímého slunečního záření θ
 I_{bT} - přímé sluneční ozáření na rovinu kolektoru
 $K_{\theta d}$ - modifikátor uhlu dopadu pro difuzní sluneční záření
 I_{dT} - difuzní sluneční ozáření na rovinu kolektoru
 a_1 - lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
 a_2 - kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru (vyjadřuje teplotní závislost)

Na Obr. 9 je vidět, které druhy solárních kolektorů mají největší účinnost, a pro kterou oblast využití se nejlépe hodí. Obecně platí, že s rostoucí účinností solárních panelů roste i jejich cena. Proto je třeba zvážit, zvláště z ekonomického hlediska, jestli je například pro ohřev vody v bazénu vhodné investovat do vakuového solárního kolektoru.

V naší aplikaci použijeme plochy panel se selektivní vrstvou, případně nějaký menší vakuový trubkový solární panel.



Obr. 9 - Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů; zdroj[9]

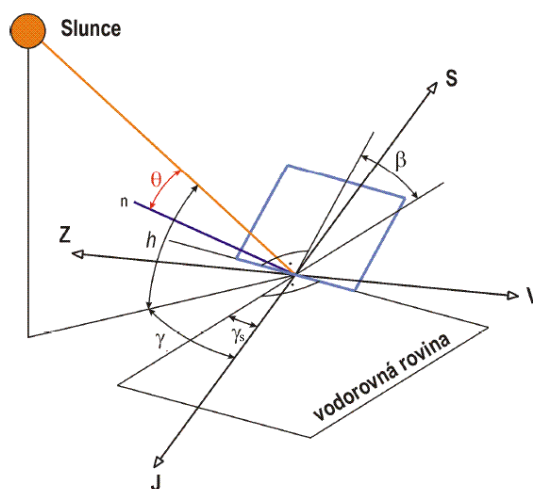
2.1.4 Množství získané energie

Množství energie získané ze Slunce pomocí solárních kolektorů ovlivňuje řada různých faktorů. Mezi ty nejvýznamnější patří zejména:

- Zeměpisná poloha
- Součinitel znečištění
- Roční období a místní klima
- Úhel dopadu slunečního záření na solární kolektor

Zeměpisná poloha má nemalý vliv na to, kolik sluneční energie dopadá na povrch Země. Největší množství sluneční energie dopadá v oblasti kolem rovníku a nejmenší v oblasti zeměpisných pólů. Ve střední Evropě kolísá intenzita globálního slunečního záření v rozmezí 100-1300[W·m⁻²]. Tato intenzita slunečního záření je vztažena k ploše, která je kolmá k slunečnímu záření. Je-li třeba spočítat množství energie dopadající na solární panel, pak je potřeba brát v úvahu:

- jaký je sklon β absorpční plochy slunečního kolektoru vůči vodorovné ploše
- jaký je azimut plochy γ
- zeměpisnou šířku
- jaká je výška slunce nad obzorem
- ostatní(deklinace, sluneční časový úhel....)



Obr. 10 - Geometrie slunečního záření; zdroj[10]

Výška slunce nad obzorem h je dána vztahem:

$$\sin h = \sin \delta + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad (4)$$

a azimutem slunce γ_s :

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta}{\cos h} \sin \tau \quad (5)$$

kde: h – výška slunce nad obzorem
 γ_s – azimut slunce
 τ – sluneční časový úhel
 δ – deklinace
 φ – zeměpisná šířka

Sluneční deklinace se v průběhu roku mění, proto se pro běžné výpočty používá jedna hodnota pro každý měsíc. Přehled těchto hodnot nalezneme v [4] tab.2.2. Potřebujeme-li však vypočítat δ pro libovolný den v měsíci, pak je možno použít vztahu (6). Do tohoto vztahu je potřeba vložit den D a měsíc M , pro který počítáme danou deklinaci.

$$\delta = 23,45^\circ \sin 0,98^\circ D + 29,7^\circ M - 109^\circ \quad (6)$$

Známe-li výšku h slunce nad obzorem a azimut γ_s , pak můžeme určit úhel dopadu slunečních paprsků θ ze vztahu (7).

$$\cos \theta = \sin h \cos \gamma_s + \cos h \sin \gamma_s \cos \gamma - \gamma_s \quad (7)$$

Celková hodnota slunečního záření dopadajícího na danou plochu je dána vztahem (8). Jedná se o součet přímého a difuzního záření.

$$I = I_p + I_D \quad \text{Wm}^{-2} \quad (8)$$

Přímé sluneční záření je takové, které dopadá přímo na plochu kolmo ke směru paprsků. Tuto intenzitu slunečního záření lze spočítat ze vztahu (9).

$$I_{pn} = I_0 \exp -\frac{Z}{\varepsilon} \quad \text{Wm}^{-2} \quad (9)$$

Součinitel ε můžeme podle Kocha a Heindla vypočítat ze vztahu (10).

$$\varepsilon = \frac{9,3876 \cdot \sin h + 0,003 + \sin^2 h^{0,5}}{2,0015 \cdot 1 - H \cdot 10^{-4}} + 0,91018 \quad (10)$$

kde: H – nadmořská výška
 h – výška slunce nad obzorem

Intenzitu přímého slunečního záření na obecnou plochu s daným azimutem a úhlem sklonu můžeme vypočítat ze vztahu (11).

$$I_p = I_{pn} \cos \theta \quad \text{Wm}^{-2} \quad (11)$$

Difúzní záření je takové záření, které se v atmosféře rozptýlí odrazem o molekuly plynů, částičky prachu a mraky. Intenzitu tohoto záření vypočteme ze vztahu (12).

$$I_D = 0,5 \cdot 1 + \cos \beta \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot 1 - \cos \beta \cdot I_{Ph} + I_{Dh} \quad \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (12)$$

kde: β – úhel sklonu ozářené plochy od vodorovné roviny
 r – reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky, tzv. albedo
 I_{Ph} – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu
 I_{Dh} – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu

$$I_{Ph} = I_{pn} \cdot \sin h \quad \text{Wm}^{-2} \quad (13)$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot I_0 - I_{pn} \cdot \sin h \quad \text{Wm}^{-2}$$

V [4] *Tab. 2.6.* a *Tab. 2.7.* se nacházejí hodnoty I_{Ph} a I_{Dh} pro naši zeměpisnou šířku a pro součinitel znečištění atmosféry $Z=3$.

Za předpokladu, že bude od východu slunce do západu slunce obloha bez mraků, pak lze vypočítat množství energie dopadající na ozářenou plochu pomocí vztahu (14).

$$Q_{den\ teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad \text{Whm}^{-2} \quad (14)$$

kde: $\tau_{1,2}$ – hodina východu a západu slunce

$$\cos \tau_{1,2} = -\tan \delta \tan \varphi \quad (15)$$

$Z \tau_1$ a τ_2 se určí teoretická hodnota délky slunečního svitu τ_{teor} a pomocí této hodnoty vypočteme střední intenzitu slunečního záření v průběhu dne.

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I d\tau \quad \text{Wm}^{-2} \quad (16)$$

Teoreticky možné množství energie pro různé úhly skloněné plochy a pro různé odchylky od jižního směru je možno vidět v [4] *Tab. 2.9.* Z této tabulky je také patrné, že největší teoretické množství energie lze získat v letních měsících při orientaci plochy k jihu a se sklonem této plochy v rozmezí 30-45° vůči vodorovné ploše.

Teoreticky možné množství energie $Q_{den\ teor}$ dopadá na ozařovanou plochu jen v době, kdy slunce svítí nepřetržitě po celou možnou dobu. Tato situace se však v našich zeměpisných šířkách příliš nevyskytuje, a proto se počítá s dlouhodobějšími hodnotami, nejčastěji pro období jednoho měsíce. Při těchto výpočtech se bere v úvahu skutečná doba slunečního svitu τ_{skut} .

$$\tau = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad (17)$$

Skutečnou energii dopadající na ozářenou plochu pak můžeme vypočítat dosazením do vztahu (18).

$$Q_{den} = \tau Q_{den\ teor} + (1 - \tau) Q_{D\ den} \quad \text{Whm}^{-2} \quad (18)$$

2.1.5 Zásobník (výměník) tepla

Přívod energie slunečního záření není plynulý, ale probíhá ve známých denních a ročních cyklech. Bohužel se však zpravidla přívod energie časově nekryje se spotřebou teplé vody. Z tohoto důvodu je nezbytnou součástí solárních systémů zásobník, ve kterém se teplo zachycené solárními kolektory v době přebytku slunečního záření akumuluje pro odběr v době, kdy slunce nesvítí. Při výběru zásobníku je třeba zvolit vhodný objem zásobníku. Současné zásobníky mívají zpravidla také výměníky tepla, které umožňují přivádění tepla z kolektorového okruhu. Tyto zásobníky bývají naplněny nejčastěji vodou.



Obr. 11 - solární zásobník

Solárně termické systémy k ohřevu užitkové vody mohou být v závislosti na počtu osob v domácnosti stanoveny následujícím přibližným odhadem:

- velikost kolektoru: 1-1,5 m² plochých kolektorů na osobu
- velikost akumulčního zásobníku: 80-100 litrů na osobu

při použití vakuových trubcových kolektorů vychází velikost plochy kolektorů asi o 30% menší. Nemělo by ale být méně než 2-3 m², protože nadprůměrně vzrostly ztráty v potrubí.

Objem zásobníku $V_{\text{zásobníku}}$ můžeme spočítat jako dvojnásobek celkové spotřeby P osob, kde denní spotřeba jedné osoby je V_{osoby} .

$$V_{\text{zásobníku}} = 2 \cdot P \cdot V_{\text{osoby}} \text{ litrů} \quad (19)$$

Na základě denní spotřeby teplé vody na osobu a den Q_{osoby} můžeme spočítat celoroční spotřebu teplé vody Q_{TV} .

$$Q_{TV} = 365 \cdot P \cdot Q_{\text{osoby}} \text{ kWh} \quad (20)$$

Během výpočtů budeme uvažovat tříčlennou rodinu o průměrné spotřebě 45 litrů, resp. 1,8kWh na teplou vodu. Dosazením do vztahu (19) dostaneme:

$$V_{\text{zásobníku}} = 2 \cdot 3 \cdot 45 = 270 \text{ litrů}$$

Z výpočtu plyne, že pro tříčlennou rodinu bude potřeba použít 300 l velký zásobník. Dále můžeme dosazením do vztahu (20) spočítat celoroční spotřebu tepla:

$$Q_{TV} = 365 \cdot 3 \cdot 1,8 = 1971 \text{ kWh}$$

2.1.6 Transportní systém

Potrubí

Potrubí primárního (solárního) okruhu od kolektorů k zásobníku tepla (výměníku) je nutné dimenzovat na teplotu minimálně 150 °C (v kolektorech se selektivní vrstvou je teplota při provozu naprázdno až 160 °C, u vakuových až 250 °C) a tomu odpovídající tlaky. V žádném případě není možné použít pro přívodní a vratné potrubí běžné plastové trubky. Žádný ze známých plastových materiálů používaných v topenářské praxi nevyhovuje provozním podmínkám solárních soustav (teplotní rázy a mechanické namáhání). Nejvhodnějším materiálem se jeví potrubí z měděných trubek spojených pájením nebo lisováním. V dnešní době se objevují i systémy s tzv. vlnovcovým potrubím. Výhodou je rychlá práce a flexibilita. Nevýhodou jsou zvýšené tlakové ztráty způsobené tvarem vlnovce, nebo nutnost použít větší průměr potrubí oproti měděnému. Z principu je také možno použít ocelové trubky, ale jejich montáž je velmi pracná a zdoluhavá. Ocelové potrubí se používá především u soustav, kde měděné potrubí ve velkých světlostech je velmi drahé.

Při montáži potrubí je nutné věnovat pozornost také tepelné roztažnosti potrubí. Změna délky trubky Δl (mm) v závislosti na teplotním rozdílu Δt (K) se stanoví podle vztahu:

$$\Delta l = \Delta t \cdot \alpha \cdot l \text{ [m]} \quad (21)$$

kde: Δt - je rozdíl mezi teplotou při montáži a provozu potrubí nebo rozdíl mezi teplotou studené a teplé vody [K]

α - součinitel tepelné roztažnosti (mm/m.K) podle Tab. 2;

l - délka trubky (m).

Délkovou dilataci je tedy nutno zohlednit promyšleným vedením potrubí a správným umístěním pevných bodů, kluzných uložení a dilatačních prvků.

Tab. 2 - Součinitelé tepelné roztažnosti α podle EN 806-4

Materiál	Koeficient roztažnosti α [mm/mK]
měď	0,017
ocel	0,017
hliník	0,02
polyethylen	0,2
polyvinylchlorid(PVC)	0,08

Návrh světlosti potrubí kolektorového okruhu je dán hodnotou průtoku kolektorem a požadovanou rychlostí proudění. Rychlost proudění by se měla pohybovat mezi 0,3-0,7[m·s⁻¹].

Důležitou součástí je také tepelná izolace potrubí, protože tepelné ztráty z potrubí do okolí by podstatně snižovaly celkovou účinnost solární soustavy. Při instalaci tepelné izolace je třeba brát v úvahu, že teplota na výstupu z kolektorů může dosahovat teplot nad 150 °C, doporučuje se pro toto potrubí používat tepelné izolace na bázi minerálních látek, nikoliv na bázi plastů. Při návrhu tloušťky tepelné izolace potrubí bychom se měli řídit vyhláškou [8] určenou obecně pro tepelné soustavy. Vyhláška určuje minimální požadovaný součinitel prostupu tepla $U[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ pro různé světlosti potrubí.

$$U = \frac{\pi}{m \cdot \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\theta i}} \ln \frac{d_{zi}}{d_{vi}} + \frac{1}{\alpha_e \cdot d_e}} \cdot \frac{W}{m \cdot K} \quad (22)$$

kde : λ_{θ} - je součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky nebo její tepelné izolace

d_z - vnější průměr vrstvy (trubky nebo její tepelné izolace) (m);

d_v - vnitřní průměr vrstvy (trubky nebo její tepelné izolace) (m);

α_e - součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu tepelné izolace

d_e - vnější průměr tepelné izolace trubky (m);

m - počet vrstev.

Pro rozvody ve venkovních prostorech je nutné použít nenavlhavou izolaci potrubí odolnou proti UV záření a hlodavcům, popřípadě provést zakrytování potrubí a tepelné izolace vhodným krytem (pozinkovaný plech, Al plech).

V návrhu tohoto malého alternativního zdroje energie budeme předpokládat, že veškeré rozvody budou provedeny měděným potrubím. Díky tomuto předpokladu nebudeme potřebovat žádné přechodové prvky. Tepelnou izolaci bude tvořit minerální vata.

Oběhové čerpadlo

V solárních soustavách jsou použity nejčastěji mokro běžná odstředivá oběhová čerpadla s přepínáním otáček. Tyto čerpadla se vyrábějí v provedení vhodném pro použití s nemrznoucí směsí a při zvýšených teplotách. Při výběru oběhového čerpadla by měl pracovní bod solární soustavy ležet v oblasti maximální účinnosti čerpadla. Na trhu jsou k dispozici oběhová čerpadla s přizpůsobenou charakteristikou, která dosahují vysoké účinnosti v typické provozní oblasti solárních soustav. Stále více se začínají uplatňovat energeticky úsporná oběhová čerpadla s rotory z trvalých magnetů. Chceme-li snížit spotřebu pomocné elektrické energie, pak můžeme použít dnes již volně dostupné oběhové čerpadla na stejnosměrný proud.

Regulační zařízení

Jedná se o zařízení, které zapíná čerpadlo v době, kdy teplota na výstupu ze solárního kolektoru převyší teplotu ve spodní části zásobníku. V podstatě se jedná o jednoduchý diferenční regulátor teploty se dvěma čidly. Kromě této základní funkce se do regulátoru integrují ještě další pomocné a zabezpečovací funkce, jako je například ochrana před přehřátím zásobníku, měření tepla dodaného

solárním systémem apod. Vyspělejší řídicí jednotky dokážou komunikovat s počítačem, pomocí něhož lze mnohem komfortněji monitorovat solární systém.



Obr. 12 - solární regulátor

2.1.7 Bezpečnostní prvky

Pojistný ventil

Pojistný ventil chrání primární okruh solární soustavy před nedovoleným přetlakem. Otevírací přetlak bývá většinou nastaven nad 500 kPa. Jedná se o maximální přetlak v soustavě s ohledem na tlakovou odolnost nejslabšího prvku solární soustavy (většinou jde o kolektor). Určuje tlakový stupeň expanzní nádoby. Funkce pojistného ventilu se musí v pravidelných intervalech kontrolovat.

Expanzní nádoba

Každá solární soustava musí být vybavena expanzním zařízením, které umožní změny objemu teplotně kapalin vlivem objemové roztažnosti. Objem expanzní nádoby kolektorového okruhu solární soustavy musí být stanoven výpočtem, který zohledňuje nárůst objemu teplotně kapalin v kolektorovém okruhu ze studeného stavu do ohřátí na maximální provozní teplotu. V praxi lze odhadnout velikost expanzní nádoby na 2-3 l/m² kolektorového pole. Expanzní nádobu obvykle umístíme na studené straně kolektorového okruhu.



Obr. 13 - typy expanzních nádob + řez expanzní nádobou

Zpětná klapka

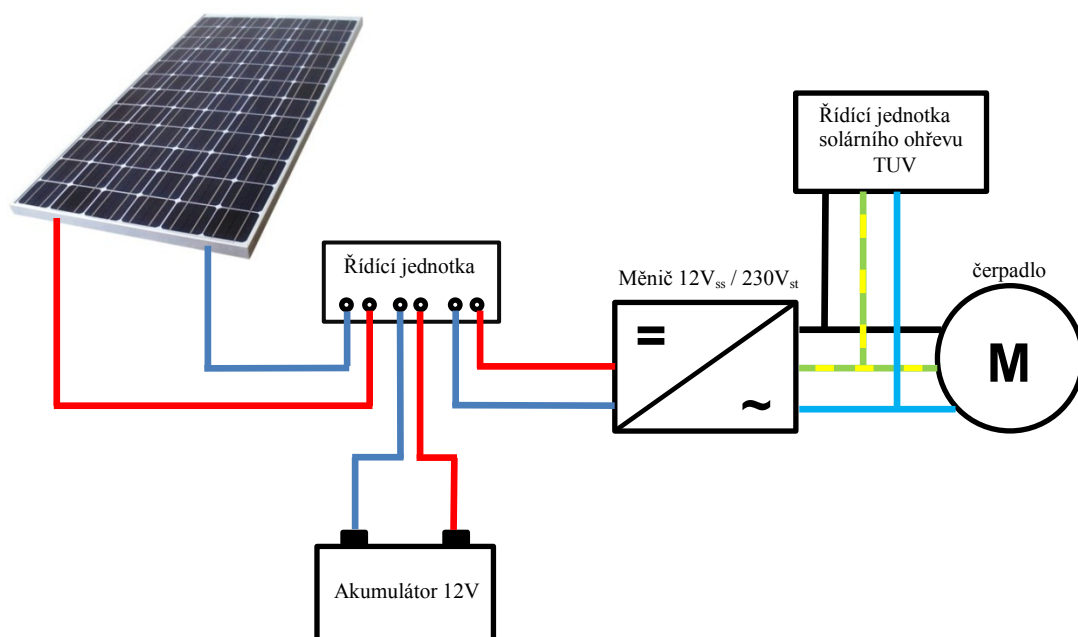
Zpětná klapka je do primárního okruhu montována v případě, kdy je akumulční nádoba níže než kolektorové pole (což je převážná většina systémů s nuceným oběhem). Jejím úkolem je zabránit zpětné cirkulaci teplotnosné kapaliny, aby nedocházelo k ochlazení ohřáté vody z akumulční nádoby přes kolektory v nočních hodinách. Zpětné klapky se také instalují do jednotlivých okruhů, pokud místo regulace trojcestným ventilem zvolíme regulaci čerpadly.

2.2 Solární fotovoltaická část zdroje

Nedílnou součástí tohoto malého alternativního zdroje energie je i část, která zajišťuje napájení pro oběhové čerpadlo. Jak již bylo psáno v kapitole 2.1, tento zdroj je stavěn jako ostrovní systém. Proto je potřeba zajistit napájení elektrického oběhového čerpadla. K tomuto účelu bylo možno použít několik zdrojů elektrické energie. Vzhledem k tomu, že pro ohřev teplotnosné kapaliny je použita solární energie, proto je i pro výrobu elektrické energie použito energie slunce. Celá část pro zásobování oběhového čerpadla elektrickou energií je sestavena z těchto částí:

- Fotovoltaický panel
- Řídicí jednotka nabíjení akumulátoru
- Akumulátor
- Měnič (střídač, invertor)
- Spotřebič (motor čerpadla)

Vzhledem k tomu, že ne všechny spotřebiče (čerpadlo) pracují se jmenovitým napětím stejným, jako je napětí dodávané fotovoltaickými panely, popřípadě akumulátory, proto bývá ještě dodáván do těchto obvodů měnič, který převádí elektrickou energii na vyšší napětí, případně převádí stejnosměrné napětí na střídavé.



Obr. 14 - elektrická část zdroje

V návrhu napájení je potřeba vycházet z toho jak velký bude instalovaný příkon elektrických spotřebičů. Dalším důležitým faktorem při návrhu je období, kdy bude systém napájení využíván. Toto období je důležité proto, že například v zimních měsících je množství elektrické energie dodávané fotovoltaickým panelem výrazně nižší než v létě, což může výrazně ovlivnit výběr použitého akumulátoru, a tím pádem i cenu celého systému. Pokud nebude napájecí napětí spotřebičů stejné jako je napájecí napětí fotovoltaického systému stejné, pak je třeba vhodně zvolit také měnič elektrické energie. Proto, aby se použitý akumulátor v době nedostatku elektrické energie nevybil pod určitou mez, kdy by došlo k jeho poničení, ale také před zbytečným nabíjením, je v obvodu použita řídicí jednotka. Posledním velice důležitým článkem celého systému je fotovoltaický panel, který je zdrojem elektrické energie.

Při návrhu napájecí části je třeba dodržet energetickou vyváženost systému. Toho dosáhneme, dosadíme-li vypočtené hodnoty do základní energetické rovnice:

$$E_{SA} = E_N + E_D \quad (23)$$

kde : E_{SA} – je energie spotřebovaná za celý den
 E_N – je energie potřebná k nabití akumulátoru
 E_D – je energie potřebná pro provoz spotřebičů

2.2.1 Výběr oběhového čerpadla

Oběhové čerpadlo tvoří v tomto případě koncový spotřebič. Výběru správného typu oběhového čerpadla je třeba věnovat velkou pozornost. V současné době je na trhu velké množství čerpadel, určených přímo pro aplikaci do solárních systémů. V nabídce mnoha firem je možno nalézt čerpadla s napájením od 12V_{ss} až po čerpadla s napájením 230V_{st}. Jedná se o čerpadla, která mají nízký elektrický příkon a jsou stavěná na to, aby jimi protékala kapalina o vyšší teplotě. Tyto čerpadla se vyrábějí s příkony od několika desítek až po stovky wattů, s možností regulace výkonu.



Obr. 15 - oběhové čerpadlo WILLO StarST

Výběru oběhového čerpadla je třeba také věnovat pozornost z toho důvodů, protože je třeba zajistit oběh teplotnosné kapaliny v celém systému. To je také důvod, proč je třeba brát v úvahu světlost potrubí, na které bude čerpadlo připevněno, ale také rozdíl výšky mezi čerpadlem a slunečním kolektorem, do něhož je vháněna kapalina. Pokud by se v kolektoru objevila například vodní pára, pak by mohlo dojít k přetížení čerpadla a případně k jeho zničení.

V návrhu tohoto malého alternativního zdroje energie bude při výpočtech uvažováno oběhové čerpadlo s příkonem $P_{\text{č}} = 65\text{W}$, a napájením $U_{\text{č}} = 230\text{V}_{\text{st}}$. Z těchto údajů lze po dosazení do vztahu (24), kde $\cos \varphi = 0,95$, můžeme vypočítat maximální odebíraný proud $I_{\text{č}} \approx 0,3\text{A}$. Na základě tohoto výpočtu, je třeba tomuto čerpadlu předřadit motorovou ochranu, která bude nastavena na 0,3A, abychom předešli případnému zničení čerpadla.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{W} \quad (24)$$

2.2.2 Měnič elektrické energie

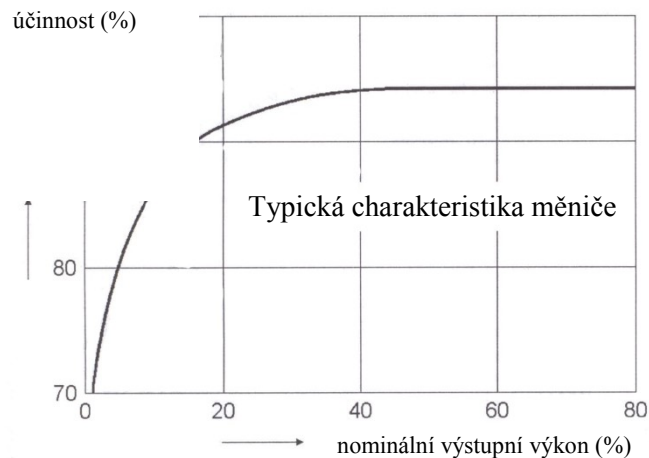
V předchozí kapitole bylo zmíněno, že použijeme oběhové čerpadlo se jmenovitým napětím 230V_{st} . Jelikož však v požadavcích na malý alternativní zdroj energie bylo, aby jeho velikost byla minimální, proto není možné sestavit pole fotovoltaických panelů tak, aby bylo na jeho výstupu zmiňovaných 230V . Dalším problémem při napájení spotřebičů (čerpadla) je, jaký druh napájecího napětí potřebuje spotřebič (čerpadlo) ke svému provozu. Fotovoltaický panel, případně akumulátor, dodává pouze stejnosměrné napětí, a to je pro napájení oběhového čerpadla nevhodné.



Obr. 16 - měnič napětí $12\text{V}_{\text{ss}}/230\text{V}_{\text{st}}$ 300W

Při výběru měniče elektrické energie je třeba dbát na to, aby bylo vstupní napětí měniče shodné s tím, které je na výstupu z akumulátoru, aby nedošlo k poškození měniče, ale také na to, jaké napětí je na výstupu z měniče. Neméně důležitým faktorem při výběru tohoto zařízení je jeho účinnost. U různých obchodníků lze zakoupit měniče od různých výrobců. Pro potřeby užití v obvodech s fotovoltaickými panely se vyrábějí modely s účinností v rozmezí 90-97%. To je důležité proto, aby celkové ztráty v obvodu byly minimalizovány. Typická závislost účinnosti kvalitního měniče na odebíraném výkonu je zobrazena na obrázku Obr. 17.

Posledním důležitým faktorem při výběru měniče je výstupní výkon. Měli bychom vybírat měnič s takovým výstupním výkonem, abychom měli nějakou rezervu pro případ, že bychom potřebovali přidat další spotřebič anebo použít výkonnější čerpadlo.



Obr. 17 - závislost měniče na odebíraném výkonu

Je však zbytečné používat měniče předimenzované, jelikož jejich účinnost je optimální při zatížení v rozmezí 40%-90%. Při návrhu tohoto malého alternativního zdroje energie je pro nás nedůležité, jestli bude výstupní napětí ve tvaru „čisté“ sinusovky, anebo ve tvaru modifikované sinusovky. Je to proto, že používáme pouze čerpadlo, jehož motor dokáže takto zpracované výstupní napětí bez problémů zpracovat. Pokud bychom používali na výstupním vedení z měniče nějakou citlivou elektroniku, pak bychom měli zvážit užití dražšího typu měniče, který dodává na výstup „čistou“ sinusovku.



Obr. 18 - zvlnění výstupního napětí měniče

Při dalších výpočtech budeme uvažovat užití měniče s výstupním výkonem 150W a účinnosti 90%. Z toho plyne, že na vstupu měniče bude muset být výkon o 10% vyšší v porovnání s výstupním výkonem (příkonem čerpadla). Jednoduchým výpočtem zjistíme, že do vstupu měniče bude téct proud $I_{vst} \doteq 6A$ při vstupním napětí 12V. důležitým parametrem uvažovaného měniče je i proud naprázdno $I_{0m} = 0,25A$, který musíme připočíst k I_{vst} . Tomuto faktu budeme muset věnovat pozornost při výběru předřadného jističe zvoleného měniče.

2.2.3 Akumulátor

Výběr správného akumulátoru je důležitý, pokud nám zdroj musí dodávat elektrickou energii i v době, kdy je intenzita slunečního svitu příliš malá a fotovoltaické panely by nevládaly vyrábět dostatek elektrické energie pro spotřebiče. Proto je potřeba „přebytečnou“ elektrickou energii, která se nespotebkuje, nějakým způsobem kumulovat. K tomuto účelu nám slouží právě akumulátor elektrické energie. Pro fotovoltaické systémy, v nichž je použit akumulátor, se používá zvláštní typ akumulátorů. Jedná se o tzv. „trakční akumulátory“.



Obr. 19 - trakční akumulátor

Na rozdíl od autobaterie, která je konstrukčně navržena tak, aby vždy podala maximální výkon v jednom krátkém okamžiku (start motoru = velký odběr proudu) a poté byla tato energie opět alternátorem doplněna, by měly mít tyto akumulátory určené pro solární systémy:

- vyšší odolnost proti hlubokému vybití (obvykle do 80% kapacity)
- nízký minimální nabíjecí proud
- nízké samovybíjení
- vysoký počet pracovních cyklů (dlouhá životnost)
- vysokou akumulaci schopnost elektrické energie
- odolnost proti nestálosti nabíjecích podmínek a minimální nároky na údržbu

V současnosti je možné využívat klasické olověné akumulátory s tekutým elektrolytem nebo s elektrolytem ve formě gelu, které jsou odolnější proti poškození při překlopení. Akumulátor by měl také splňovat ekologické požadavky na minimum emisí plynů při nabíjení, životnost akumulátoru v solárním systému by měla být 10-12 let.

Celkovou kapacitu akumulátoru dimenzujeme přibližně o 10-20% vyšší, než je nutná pro bezproblémový provoz, vyhneme se tak v budoucnu problémům při zapojení dalších spotřebičů a kapacitní rezerva akumulátorů (úplné nevybití) prodlužuje jejich životnost. Při propojování akumulátorů do souboru je nutné dbát na to, aby propojované akumulátory byly stejného typu a stáří, měly stejnou kapacitu a aktuální stupeň vybití. Při paralelním propojování souborů je nutné každý soubor opatřit pojistkou proti poškození zkratem nebo v důsledku velkých vyrovnávacích proudů.

Budeme-li brát v úvahu, že čerpadlo poběží přibližně 4 hodiny denně, s předpokládaným napětím 12V na výstupu z regulátoru nabíjení, a tento malý alternativní zdroj bude v provozu od března do listopadu, pak můžeme vypočítat potřebnou kapacitu akumulátoru ze vztahu:

$$C_{aku} = \frac{2 \cdot E_{spotr,m}}{U_{bat}} \cdot \frac{d_r}{31} \text{ Ah} \quad (25)$$

kde : C_{aku} – je celková kapacita akumulátoru
 $E_{spotr,m}$ – množství spotřebované energie za měsíc
 U_{bat} – jmenovité napětí akumulátoru
 d_r – počet rezervních dnů (pro naše výpočty uvažujeme 2 dny)

Celkovou spotřebu elektrické energie vypočteme ze vztahu :

$$E_{spotr,m} = 31 \cdot P_c \cdot t_c \text{ Wh} \quad (26)$$

kde : P_c – celkový příkon
 t_c – počet hodin běhu čerpadla

Dosazením do vztahu (26) dostaneme :

$$E_{spotr,m} = 31 \cdot 72W \cdot 4h = 8928 \text{ Wh}$$

Nyní již můžeme dosadit do vztahu (25), a výsledek navýšíme o 15% (důvod je zmíněn výše v kapitole).

$$C = \frac{2 \cdot 8928}{12} \cdot \frac{2}{31} \cdot 1,15 \doteq 110 \text{ Ah}$$

Z předešlého výpočtu je patrné, že budeme muset použít trakční akumulátor s kapacitou 110Ah. Tato kapacita je spočtena pro nejnejpříznivější možnou situaci, kdy nám poběží čerpadlo zmiňovaných 5hodin s tím, že fotovoltaický panel nebude dodávat téměř žádnou energii do obvodu.

2.2.4 Řídící jednotka nabíjení akumulátoru

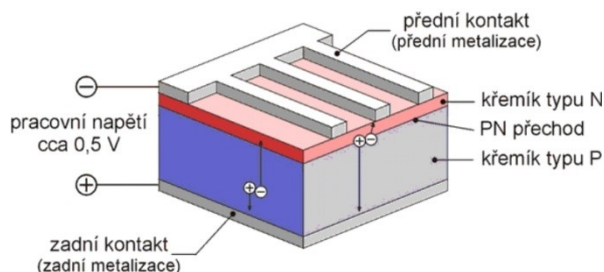
Řídící jednotka nabíjení se zapojuje mezi fotovoltaické panely a akumulátory a slouží k ochraně akumulátorů proti přebíjení nebo jejich hlubokému vybití. Regulátor měří stupeň nabití akumulátorů a v případě potřeby panely odpojuje, při poklesu napětí na akumulátorech naopak panely znovu připojí k dobíjení. Regulátor je nutné zvolit podle pracovního napětí v systému, proudového výkonu fotovoltaických panelů, podle typu akumulátorů a nároků na teplotní pracovní podmínky a nakonec podle celkového příkonu elektrospotřebičů za regulátorem. Regulátor je zapojen do série s fotovoltaickými panely a akumulátory, v případě optimálního dobíjení akumulátorů panely odpojí, nebo je propojí nakrátko. Provozní napětí systému s regulátorem s akumulátorovou vazbou je závislé na napětí na akumulátorech, což snižuje účinnost celého systému tím, že panely nemohou pracovat při optimálním napětí. Tento problém řeší optimalizované regulátory, které mají integrovaný převodník stejnosměrného napětí, takže panely mohou pracovat při optimálním napětí. Optimalizovaný regulátor může účinnost systému zvýšit až o 30%.



Obr. 20 - regulátory nabíjení

2.2.5 Fotovoltaický panel

Sluneční energii můžeme využít nejen k získání tepelné energie, ale také k výrobě energie elektrické. K tomuto účelu je využíván fotovoltaický článek. Princip činnosti FV článku je zobrazen na Obr. 21. Solární článek je v podstatě velkoplošná dioda alespoň s jedním PN přechodem. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabitě částice (páry elektron – díra). Elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Vnější obvodem zapojeným mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, který je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. Napětí jednoho článku s hodnotou přibližně 0,5 V je příliš nízké pro další běžné využití. Sériovým propojením více článků získáme napětí, které je již použitelné v různých typech fotovoltaických systémů. Standardně jsou používány sestavy pro jmenovité provozní napětí 12 nebo 24 V. Takto vytvořené sestavy článků v sériovém nebo i sériovo-paralelním řazení jsou hermeticky uzavřeny ve struktuře krycích materiálů výsledného solárního panelu.



Obr. 21 - princip činnosti fotovoltaického článku

Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření fotovoltaický panel. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost (např. vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod.). Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle druhu použití. Obvykle jsou po obvodu FV panely opatřeny duralovými rámy pro zpevnění celé konstrukce fotovoltaického panelu a zároveň k usnadnění realizace uchycení panelů ke konstrukci FV systému. Přední krycí materiál je speciální kalené sklo, které odolává i silnému krupobití.

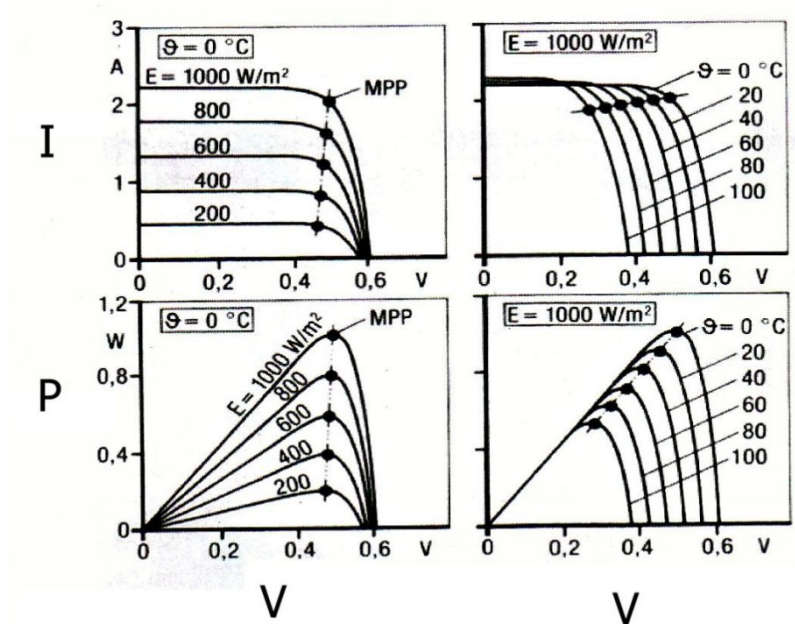
Účinnost FV článku udává, jaký podíl slunečního záření přemění článek na elektrický výkon.

$$\eta = \frac{P_{el}}{\Phi} \quad (27)$$

kde: P_{el} – výstupní elektrický výkon
 Φ – vstupní energie slunečního záření

Čím je vyšší účinnost, tím větší výkon na m^2 může FV článek vyrobit. Kromě zvolených materiálů má při výrobě článků rozhodující vliv kvalita. Sériově vyráběné křemíkové články dosahují maximální účinnosti do 20%. Kromě účinnosti existují ještě další ukazatele, které charakterizují FV moduly. V technických popisech FV modulů se uvádí

VA charakteristika, napětí naprázdno V_{OC} , proud nakrátko I_{SC} , napětí v bodě max. výkonu V_{MPP} a proud v bodě max. výkonu I_{MPP} .



Obr. 22 - VA charakteristika FV panelu a závislost na teplotě; zdroj[11]

Výkon FV panelů je kromě výše zmiňovaných faktorů také závislý na teplotě. Rostoucí teplota článků způsobuje nárůst proudu a pokles napětí a výkonu článků. Pro závislost změny výkonu v závislosti na změně teploty platí vztah (28).

$$\frac{dP}{d\vartheta} \cong \frac{\Delta P}{\Delta \vartheta} = -0,4 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \quad (28)$$

kde : ΔP – je změna výkonu
 $\Delta \vartheta$ – je změna teploty

2.2.6 Návrh měření

K tomu, aby solární regulátor pracoval tak jak má, je potřeba zajistit, aby „věděl“ jaké jsou teploty na výstupu ze solárního kolektoru a v zásobníku TUV. K tomu, aby solární regulátor zjistil, jaká je teplota v měřeném místě, potřebuje, aby byl v daném místě nějaký senzor teploty.

Senzor teploty je funkční prvek, který tvoří vstupní blok měřicího řetězce, tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor teploty je ekvivalentní pojmu snímač teploty, anebo čidlo teploty. Sensory teploty dělíme do několika skupin, podle toho, na jakém fyzikálním principu pracují.

Rozdělení senzorů podle fyzikálního principu:

- odporové senzory
- termoelektrické senzory
- polovodičové senzory s PN přechodem
- dilatační senzory
- optické senzory
- radiační senzory
- chemické senzory
- šumové senzory
- akustické senzory
- magnetické senzory
- ostatní

Senzory teploty můžeme rozdělit také podle toho, jak snímají teplotu:

- dotykové senzory
- bezdotykové senzory

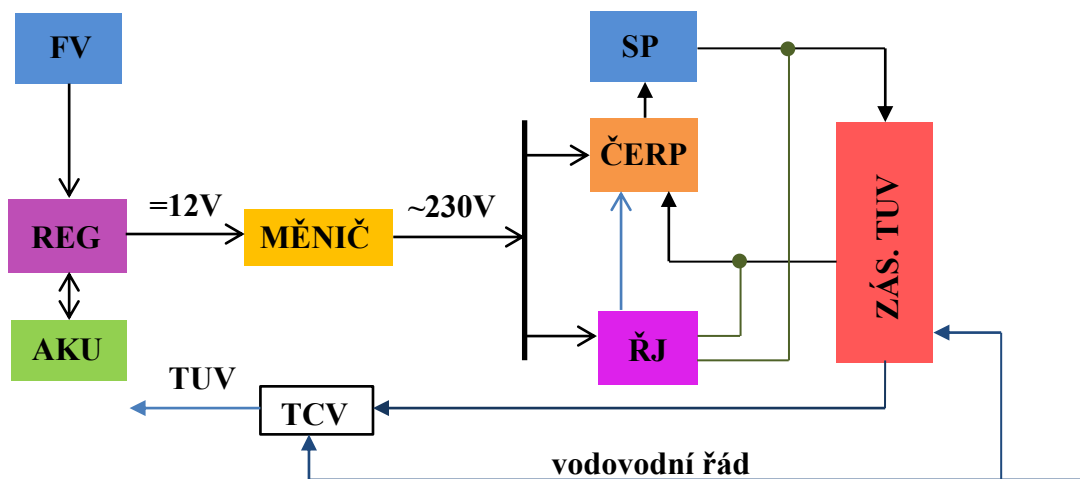
Dále můžeme senzory rozdělit podle toho, jak transformují měřený signál:

- aktivní – jde o senzory, které se působením teploty chovají jako zdroj elektrické energie
- pasívní – tyto senzory potřebují pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu elektrický proud

Proto, abychom vybrali správný typ senzoru teploty, je potřeba vědět v jakém teplotním rozsahu bude daný senzor pracovat, a jaký signál na výstupu ze senzoru budeme dále zpracovávat. Pro naše potřeby je zřejmě nejvýhodnější použití odporového snímače (například Pt100), protože většina dnes používaných řídicích jednotek má přímo připravené vstupy na tento druh senzorů. Zřejmě stejně rozšířenou skupinou senzorů pro měření teploty, jsou polovodičové senzory. V současné době dodávají mnozí výrobci ke svým solárním regulátorům také senzory teploty, se kterými tyto regulátory komunikují.

3 Popis řešení experimentální soustavy

Při sestavování malého alternativního zdroje energie bylo využito poznatků z návrhu v předchozí kapitole.



Obr. 23 - blokové schéma zdroje energie

Na obrázku Obr. 23 je znázorněno blokové schéma navrženého malého alternativního zdroje energie. Obecně se jedná se o typickou aplikaci, kterou má mnoho lidí na své chatě, případně chalupě. Jedná se v podstatě o nejjednodušší řešení tohoto typu, protože zde není využito dalších zdrojů energie.

3.1 Solární panel

Solární panel, který je použit v této aplikaci, patří do skupiny panelů, které dokáží získat ze slunce nejvíce tepelné energie. Jedná se o vakuový trubkový panel. Tento panel je složen z 10ti trubíc. Tyto trubice zaústí do „výměníku“, v němž se předává získána tepelná energie pomocí trubíc, kapalině, která proudí v této horní části panelu.



Obr. 24 – použitý solární tepelný kolektor

Kolektor se skládá z jednotěných vakuových trubek s tepelnou trubicí. Tato tepelná trubice je přivařena k absorpční ploše. Řez touto trubicí je znázorněn na Obr. 7. Tento solární kolektor je propojen s ostatními komponentami (oběhové čerpadlo, výměník...) pomocí měděného potrubí. Kolektor je umístěn na střeše na stávající konstrukci určené pro fotovoltaické panely, jež zásobují

laboratoř palivových článků elektrickou energii. Konstrukce je orientována na jihojihozápad. Stávající panely svírají s vodorovnou plochou úhel asi 40°. Tato orientace solárního tepelného panelu je téměř ideální proto, abychom z něj získali maximální množství energie. Bohužel však patří tento typ solárních kolektorů k tě nejdražším na trhu. Protože bude využíván jako náhražka za průtokový ohřívač, který má značný příkon, a později možná i pro jiné účely, lze předpokládat, že se investice do tohoto panelu časem vrátí.



Obr. 25 – konstrukce pro solární panel

3.2 Oběhové čerpadlo

Další použitou komponentou je oběhové čerpadlo. Toto čerpadlo bylo původně použito v experimentálním a v současné době již nepoužívaném okruhu pro ohřev teplé vody v laboratoři NK509. Jedná se o oběhové čerpadlo, které je výrobcem přímo určeno pro tento druh aplikace. Tyto čerpadla lze využívat v obvodech pro vytápění, případně pro rozvod teplé vody díky jejich konstrukci a tepelné odolnosti.



Obr. 26 - oběhové čerpadlo

Použité oběhové čerpadlo má vstupní a výstupní část opatřenou závitem G 1 1/2", takže jej lze poměrně jednoduše zabudovat do starších rozvodů teplé vody. V mém případě však byl tento závit malou komplikací, protože bylo potřeba vyrobit redukci na měděnou trubku o průměru 22mm. Výkon použitého čerpadla lze manuálně nastavit v rozmezí 30,47 a 64W. rozsah nastavení výkonu čerpadla je pro mnoho aplikací dostatečný. Bylo-li by nutno použít výkonnější čerpadlo, pak stačí toto čerpadlo nahradit nějakou výkonnější variantou. Toto čerpadlo je napájeno ~230V.

3.3 Solární regulace

Ve zdroji energie je použito českého výrobku vyráběného firmou METRA BLABSKO, a.s. Jedná se o solární regulátor, který dokáže pracovat s různými měřicími senzory. Tento regulátor je napájen střídavým proudem s napájecím napětím $\sim 230V$. Na čelní straně obsahuje grafický monochromatický display a jednoduchou klávesnici. Je možno jej instalovat na omítku, ale i pod. Tento regulátor obsahuje dva spínané výstupy, na které je možno připojit oběhové čerpadlo. Tento regulátor patří mezi levnější varianty solárních regulátorů. To je také důvod, proč s ním nelze komunikovat jinak, než pomocí čelní klávesnice. Pro naše účely je tato varianta naprosto vyhovující, a proto byl zvolen právě tento regulátor.



Obr. 27 - solární regulátor

3.4 Zásobník TUV

Zásobník TUV je opět od českého výrobce. Jedná se o výměník/zásobník teplé vody. Jde o typ OKC 300 NTRR/SOL, který je výrobcem přímo doporučován pro užití v solárních soustavách. Tento zásobník má možnost připojení dalšího zdroje energie souběžně se solárním ohřevem vody. Toho lze využít například v zimním období, kdy je množství sluneční energie menší, abychom měli stále dostatek teplé vody.

Jak je již z označení patrné, jedná se o zásobník TUV o objemu 300 litrů. Tento zásobník je spíše vhodný pro zhruba čtyřčlennou rodinu, než pro máš případ, ale do budoucna se možná dokáže plně využít jeho kapacita.



Obr. 28 - štítek zásobníku TUV

3.5 Solární fotovoltaický panel

Napájení elektrickou energií obstarává fotovoltaický panel. Jedná se o panel s výkonem P_{MPP} 165W. tento panel vyrábí firma SCHOTT solar, a jde o variantu vyrobenou z polykrystalického křemíku. Opět se jedná o jednu z komponent, která dokáže v současnosti nejlépe využít sluneční záření. Tento panel byl použit také proto, protože jsou na střeše laboratoře použity stejné panely, takže nebylo potřeba nějak upravovat konstrukci pro uchycení panelů. Množství energie, kterou je tento panel schopen dodat do obvodu je pro mou aplikaci zatím dostačující.



Obr. 29 - štítek FV panelu

3.6 Regulátor nabíjení

Regulátor dobíjení slouží k tomu, aby se zbytečně nepřebíjel akumulátor. Nastane-li situace, kdy je akumulátor nabitý, pak přeměruje veškerou energii dál do obvodu. Pokud by nastala situace, že by byl akumulátor vybitý, pak jej odpojí od obvodu, aby nedošlo k poškození tohoto akumulátoru. Použitý regulátor patří opět k těm, které jsou na trhu poměrně dobře dostupné, a zároveň splňuje naše požadavky na ochranu akumulátoru.



Obr. 30 - regulátor nabíjení

3.7 Měnič

Vzhledem k tomu, že akumulátor a potažmo i FV panel dodává do obvodu stejnosměrný proud, a oběhové čerpadlo a řídicí jednotka jsou napájené střídavým proudem, proto je potřeba použít nějaký měnič elektrické energie. Na trhu je k dispozici mnoho druhů měničů pro různá vstupní, ale i výstupní napětí. Mnou použitý měnič pracuje se vstupním napětím 12V stejnosměrných. Na výstupu měniče je 230V střídavých. Na tento měnič můžeme připojit zátěž až 300W. Jedná se o běžně dostupný měnič, který má v sobě tepelnou ochranu, která chrání tento měnič před přehřátím a poškozením. Přívod je tvořen dvěma dráty a výstup z měniče je zakončen normalizovanou zásuvkou.



Obr. 31 - měnič 12V/230V

3.8 Ventily

K tomu, aby bylo možno naplnit primární okruh kapalinou, je použit běžný mosazný kulový ventil 1/2". Totéž platí o přetlakovém a odvzdušňovacím ventilu, které lze zakoupit v kterémkoliv železářství. Přetlakový ventil byl demontován z již nepoužívaného experimentálního zařízení na učebně NK509. Tento ventil je zachycen na *Obr. 32*.



Obr. 32 - napouštěcí a přetlakový ventil

3.9 Expanzní nádoba

K tomu, aby se nějakým způsobem vyrovnával tlak, vzniklý tepelnou roztažností kapaliny v primárním okruhu, je potřeba použít expanzní nádobu. Použitá expanzní nádoba je rovněž demontována z učebny NK509. Jedná se o nádobu o objemu 8 litrů. Protože je solární panel téměř v těsné blízkosti zásobníku TUV, proto je velikost expanzní nádoby dostatečná. Tato nádoba je umístěna za výstupem ze zásobníku.



Obr. 33 - expanzní nádoba

3.10 Senzory teploty

Proto, aby solární regulátor mohl správně pracovat, proto je třeba vědět, jaká je teplota na výstupu ze solárního panelu a také jaká je teplota kapaliny v zásobníku. K tomuto účelu nám slouží senzory teploty, pomocí nichž se regulátor dozví, jaké jsou kde teploty. Pro měření je použito senzory Pt1000, které byly součástí dodávky solárního regulátoru. Jedná se o nelineární senzory. Jelikož je software regulátoru přímo stavěný na to, aby používal tento typ senzorů, proto byl použit právě tento druh senzorů.



Obr. 34 - senzory teploty

4 Závěr

V současné době, kdy lidé začínají pomalu ale jistě přemýšlet nad tím, jak snížit cenu energií, jejichž spotřeba neustále roste, nastává okamžik, kdy lidé začínají stále víc využívat obnovitelné zdroje energie. Energie získána z těchto zdrojů je v podstatě nevyčerpatelná a dalo by se říci, že je stále k dispozici. Bohužel tomu tak není u všech zdrojů energie. Například sluneční energie je na daném místě na naší planetě dostupná jen po určitou dobu. Naopak geotermální energie je dostupná neustále.

Při návrhu malého alternativního zdroje energie bylo definováno, že se bude jednat o zdroj tepelné energie, která bude kumulována v kapalině. Možností jak získávat tepelnou energii se naskytovalo hned několik. Po dalším upřesnění bylo rozhodnuto, že se bude k ohřevu výstupní kapaliny využívat sluneční energie. V dalším upřesnění zadání této práce bylo dodefinováno, že by měl být tento malý zdroj alternativní energie sestaven tak, aby tvořil „ostrovní“ systém, tzn., aby nebyl závislý na dodávkách dalších energií, například elektrické energie.

Během zpracovávání této práce jsem se seznámil s problematikou využití solární energie a její přeměnou na jiné druhy energií, přičemž jsem při řešení zadané úlohy rozdělil tuto úlohu na dvě části. První je věnována přeměně solární termické energie a druhá se zabývá elektrickou napájecí částí zdroje energie.

Dále jsem navrhnul experimentální část zdroje energie, která bude v budoucnu dále využívána pro další měření, a seznámil se s produkty, potřebnými pro sestavení experimentu, které jsou dostupné na trhu se solární technikou.

Jakmile jsem se seznámil s nabídkou dostupných produktů, tak jsem vybral vhodné komponenty pro mnou navržený experimentální zdroj energie. Při výběru těchto komponent byl brán zřetel na výpočty a různá omezení, která souvisejí s touto problematikou.

Nakonec jsem sestavil mnou navržený experimentální zdroj energie. Tento experimentální zdroj otestoval a provedl na něm kontrolní měření.

Jak již bylo zmíněno v prvním odstavci, sluneční energie není neustále k dispozici. Dalším problémem při využití sluneční energie je nestálost počasí a znečištění ovzduší. Z těchto důvodů bylo potřeba obzvláště důsledně a pečlivě nastudovat problematiku získávání tepelné a elektrické energie ze solární energie. Dále bylo potřeba nastudovat problematiku transportu získané tepelné energie do místa určení a také způsobu její akumulace. Stejně jako u tepelné energie bylo potřeba nastudovat problematiku kumulace, transportu a přeměny elektrické energie, jež je dále využívána pro další komponenty tohoto malého alternativního zdroje energie.

První kapitola této práce popisuje rozdělení dostupných energií, možnosti jejich využití a především je věnována pozornost sluneční energii. Je zde popsáno, co všechno ovlivňuje její množství, jaké jsou možnosti jejího využití a rozdělení systémů využívajících solární energii podle zpracování této energie. Nakonec jsou popsány výhody a nevýhody solární energie.

Druhá kapitola je věnována návrhu malého alternativního zdroje energie. Po stručném úvodu do návrhu následuje část, která se věnuje přeměně solární energie na tepelnou. Další části jsou postupně rozebírány jednotlivé komponenty, které tvoří tento malý zdroj energie. Nakonec je věnována pozornost návrhu části, která získává a dále zpracovává elektrickou energii pro napájení řídicí jednotky a oběhového čerpadla.

Ve třetí kapitole je samotný popis navrženého řešení. Jsou zde stručně popsány jednotlivé komponenty, které tvoří malý alternativní zdroj energie. Jednotlivé popisy použitých komponent dokreslují pořízené fotografie.

Na závěr lze říci, že jsem se mnohem blíže seznámil s možnostmi získávání a přeměny sluneční energie na energii, kterou lze dále využívat. Díky nastudování materiálů věnujícím se této problematice jsem začal přistupovat ke sluneční energii z úplně jiného úhlu pohledu. Především jsem si uvědomil, jak velký potenciál se skrývá pod pojmem solární energie. Navíc jsou ceny jednotlivých komponent neustále snižovány. Z těchto důvodů jsem začal přemýšlet nad tím, že při rekonstrukci rodinného domku, v němž bydlím, provedu úpravy, které mi dovoří později využívat slunce, jako zdroj energie.

Seznam použité literatury

- [1] QUASCHING, V. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2010. 296 s. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [2] PORTÁL VEŘEJNÉ SPRÁVY ČESKÉ REPUBLIKY-ZÁKON zákon č.180/2005 [online] URL:< http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=180/2005> [Datum citace 3. 1. 2011].
- [3] MURTINGER, Karel; TRUXA, Jan. *Solární energie pro váš dům*. 1.vydání. Brno : Computer Press, 2010. 120 s. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [4] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha : T.Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [5] Wikipedia, DEWAR TUBE [online] URL:< http://en.wikipedia.org/wiki/Dewar_tube > [Datum citace 3. 1. 2011].
- [6] MATUŠKA, Tomáš. *Solární soustavy pro bytové domy*. Praha : GRADA, 2010. 136 s. ISBN 978-80-247-3503-0.
- [7] LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. *Fotovoltaika : Teorie i praxe využití solární energie*. Praha : ILSA, 2009. 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [8] PORTÁL VEŘEJNÉ SPRÁVY ČESKÉ REPUBLIKY-ZÁKON zákon č.193/2007 [online] URL:<http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701/cmd/ad/.c/313/.ce/10821/.p/8411/_s.155/701?PC_8411_number1=193/2007&PC_8411_l=193/2007&PC_8411_ps=10> [Datum citace 3. 3. 2011].
- [9] WWW stránky tzbinfo [online] URL:<<http://energie.tzb-info.cz/solarni-kolektory/ucinnost-solarniho-kolektoru>> [Datum citace 3. 4. 2011].
- [10] WWW stránky ČVUT [online] URL:<<http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/aze.htm>> [Datum citace 3. 4. 2011].
- [11] WWW stránky ČVUT [online] URL:<http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/P1-slunezni_energie.pdf> [Datum citace 3. 4. 2011].